Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 13, No. 1, Spring 2021, p. 43-64

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۶۴-۴۳

مقاله علمی - پژوهشی

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، فرآسنجه‌های تخمیری تولید گاز، گوارش پذیری نشاسته و ساختار گرانول‌های نشاسته در ذرت ایرانی سینگل کراس ۷۰۲ و واریته‌های مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی

عطیه رحیمی[۱]، عباسعلی ناصریان[۲*]، رضا ولی زاده[۲]، عبدالمنصور طهماسبی[۲]، حسام دهقانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳

چکیده

در این مطالعه ذرت ایرانی واریته سینگل کراس ۷۰۲ با ذرت‌های تجاری-وارداتی شامل روس، اکراین و برزیل از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، فرآسنجه‌های تخمیری تولید گاز، خصوصیات تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش، میزان آسیب دیدگی و ژلاتیناسیون نشاسته و ساختار گرانول‌های نشاسته مقایسه شدند. ذرت سینگل کراس ۷۰۲ از نظر شکل ظاهری نسبت به سایر ذرت‌ها کوچکتر بود. وزن حجمی ذرت برزیل نسبت به سایر ذرت‌ها به طور معنی‌داری بالاتر بود. پروتئین، ADF، NDF، نشاسته، NFC، TDN، NE_l و NE_g به طور معنی‌داری در واریته‌های مختلف ذرت متفاوت بودند. نشاسته ذرت سینگل کراس ۷۰۲ (۶۹/۰۳ درصد) به طور معنی‌داری پایین‌تر از ذرت‌های اکراین (۷۰/۳۶ درصد)، روس (۷۱/۰۴ درصد) و برزیل (۷۱/۴۹ درصد) بود. گاز تجمعی تولید شده در مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت در ذرت برزیل، روس و سینگل کراس ۷۰۲ بالاتر از ذرت اکراین بود. غلظت نیتروژن آمونیاکی و کل اسیدهای چرب فرار در زمان ۲۴ ساعت انکوباسیون تحت تأثیر واریته‌های مختلف ذرت قرار نگرفت. ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس قابلیت هضم نشاسته شکمبه‌ای بالاتر و قابلیت هضم نشاسته روده‌ای کمتری نسبت به ذرت‌های اکراین و برزیل داشتند. قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش برای پروتئین خام بین واریته‌های مختلف دانه ذرت اختلاف معنی‌داری نشان نداد. درصد ژلاتیناسیون نشاسته در ذرت روس (۴/۲۴ درصد) و سینگل کراس ۷۰۲ (۴/۱۷ درصد) بالاتر از ذرت برزیل (۳/۳۲ درصد) و اکراین (۳/۷۸ درصد) بود. ذرت سینگل کراس ۷۰۲ نسبت به سایر ذرت‌ها میانگین مساحت دور هر گرانول، قطر طولی و عرضی و اندازه گرانول‌های نشاسته کمتر و ماتریکس پروتئینی ضعیف‌تری داشت. نتایج این مطالعه نشان داد که ذرت سینگل کراس ۷۰۲ از لحاظ میزان و نرخ تولید گاز، درصد ژلاتیناسیون و گوارش پذیری نشاسته مشابه با ذرت روس بود.

واژه‌های کلیدی: تولید گاز، ذرت سینگل کراس ۷۰۲، ذرت‌های وارداتی، ژلاتیناسیون و گوارش پذیری نشاسته.

مقدمه

دانه ذرت مهمترین منبع انرژی و بخش اصلی کنسانتره در جیره گاوهای شیری است (۲۱). در گاوهای پر تولید استفاده از جیره‌های حاوی سطوح بالای ذرت به منظور دستیابی به میزان انرژی مورد نیاز، ضروری است (۲۰). انرژی قابل استفاده در واریته‌های مختلف ذرت متفاوت است (۴۰). دانه ذرت دارای ساختار پیچیده‌ای است که در آن مجموعه‌ای از مواد مغذی از طریق اتصالات فیزیکی و شیمیایی با هم در ارتباط هستند و مقدار و قابلیت دسترسی این مواد مغذی تعیین کننده ارزش غذایی دانه است (۴۰). در ذرت استفاده از مواد مغذی و انرژی توسط دو عامل درونی (ساختار نشاسته و وجود مواد ضد تغذیه‌ای) و بیرونی (شرایط رشد، انبارداری و فرآوری دانه) تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۶۴). اندوسپرم دانه بیش از ۸۰ درصد وزن دانه را تشکیل می‌دهد و ترکیبی از گرانول‌های نشاسته است که در یک ماتریکس پروتئینی قرار گرفته‌اند و توسط دیواره سلولی گیاه احاطه

۱- فارغ التحصیل دکتری تغذیه دام، دانشکده کشاورزی، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استاد تغذیه دام، دانشکده کشاورزی، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استاد بیوتکنولوژی حیوانی، پژوهشکده زیست فناوری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- ایمیل نویسنده مسئول: Email: naserian@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/ijasr.v13i1.85030

شده‌انـد. انـدازه گرانـول‌هـای نشاسـته، ترکیـب نشاسـته (آمیلـوز و آمیلوپکتین) و میزان احاطه شدن نشاسته توسط دیواره‌های سـلولی و ماتریکس پروتئینی اندوسپرم از عوامل مهم تأثیرگـذار بـر سـرعت و مقدار تخمیر شکمبه‌ای نشاسته و اسـتفاده از آن در دسـتگاه گـوارش نشخوارکنندگان هستند (۲ و ۷۹).

مطالعات بسیاری در مورد ارزش غذایی واریته‌های مختلـف ذرت انجام شده است (۲، ۱۱، ۴۵، ۴۷، ۶۰، ۶۵ و ۸۶). واریته‌های مختلف دارای ساختار دیواره سلولی، نوع اندوسپرم و کریسـتال‌هـای نشاسـته متفاوتی هستند که همگی این عوامل می‌توانند هضـم و جـذب مـواد مغذی را تحت تـأثیر قـرار دهنـد (۴۷). نشـان داده شـده اسـت کـه واریته‌های دارای گرانول‌های نشاسته کوچکتر سطح تمـاس بیشـتر و قابلیت بالاتری برای هیدرولیز توسط میکروارگانیسم‌ها و یا آنزیم‌های آمیلاز دارند (۳۴). در واریته‌های معمـولی ذرت، نشاسـته حـاوی ۲۶ درصد آمیلوز و ۷۴ درصد آمیلوپکتین است. با این وجود، تفاوت تا ۲۲ درصد در نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین در ۹۵ نمونه ذرت مشاهده شده است (۱۳). آمیلوز نسبت به آمیلوپکتین مقاومت بیشتری به هیدرولیز توسط آلفا آمیلاز و هضم میکروبی دارد (۶۵). پرون (۶۴) بـا بررسـی ۱۶۰۰ نمونه ذرت از ۲۵ کشور گزارش کرد که محتویات مواد مغـذی دانه ذرت تا ۱۷ درصد بین واریته‌های مختلف متفاوت است. بر اساس گزارشات این محقق میزان چربی، پروتئین و فسفر بـین سـایر مـواد مغذی بیشترین نوسان را داشتند؛ در حالیکـه مقـدار نشاسـته و مـاده خشک بین واریته‌های مختلف نسبتا ثابت بودند. همچنین خصوصیات هضم‌پذیری نشاسته در شرایط *in vitro* و شاخص حلالیت پـروتئین نوسانات زیادی بـه ترتیـب تـا ۴۰ و ۴۴ درصـد در انـواع ذرت‌هـای کشورهای مختلـف نشـان داد. مهـم‌تـر از محتویـات ذرت، قابلیـت دسترسی نشاسته ذرت اسـت کـه ارزش غـذایی دانـه ذرت را تعیـین می‌کند (۶۴). محققان پیشنهاد می‌کنند کـه حـرارت دادن دانـه ذرت پس از برداشت جهت خشک کردن با استفاده از روش‌های مکـانیکی منجر به کاهش حلالیت پروتئین و افزایش باندهای نشاسته و پروتئین می‌شود، لذا قابلیت هضم نشاسته و دسترسـی گرانـول‌هـای نشاسـته برای میکروارگانیسم‌های شکمبه را کاهش می‌دهد (۳۱). در سال‌های پرباران کـه برداشـت ذرت در شـرایط آب و هـوایی مرطـوب انجـام می‌شود به دلیل استفاده از وسایل مکـانیکی بـا دمـای بـالاتر بـرای خشک‌کردن دانه‌های ذرت، شاخص حلالیت پروتئین کـاهش یافتـه (۲۳/۷ در مقابل ۱۱/۱ درصد به ترتیب برای سـال‌هـای کـم‌بـاران و پرباران) و منجر به افزایش مصرف خوراک حیوان برای جبران کاهش قابلیت هضم نشاسته شده است (۶۴). در شرایط خشک‌کردن شدید و با دماهای بالا ممکن است حتی تغییرات شیمیایی در نشاسته از طریق تغییـر سـاختار آمیلـوز و آمیلـوپکتین (ژلاتیناسـیون و بـه دنبـال آن رتروگرادیشن[1]) ایجاد شود که در صورت وجود رتروگرادیشن کـاهش در قابلیت هضم نشاسته ذرت اتفاق می‌افتد (۴۸). همچنین این نکته بسیار مهم است که اختلافات مشاهده شده بین ذرت‌های کشورهای مختلف ممکن است به واریته‌هـای مختلـف ذرت وابسـته باشـد کـه متأسفانه به خوبی روشن نیست (لیسون و همکاران، ۲۰۰۳). لیسون و همکاران (۳۹) نشان دادند که انرژی قابل متابولیسم در نمونـه‌هـای ذرت آمریکا از یک بار تا بار بعـدی کـه وارد مزرعـه مـی‌شـود، ۴۷۸ کیلوکالری در هر کیلوگرم متفاوت می‌باشد. همچنین دالفونسـو (۱۲) اختلاف ۱۷ درصدی برای انرژی قابل هضم ایلئومی در جیـره طیـور حـاوی ۵۰ درصـد ذرت را هنگـام اسـتفاده از بارهـای مختلـف ذرت مشاهده کردند. این اختلافات در کارخانجـات خـوراک دام از اهمیـت ویژه‌ای برخوردار است. کارخانجات نیاز بـه تولیـد خـوراک یکنواخـت دارند تا عملکـرد حیـوان را تضـمین کننـد و هنگـام ورود ذرت‌هـای مختلف به کارخانه با چالش‌های کمتری مواجه شوند (۶۴).

واریته‌های مختلفی از ذرت دانه‌ای شـامل سـینگل کـراس ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳ و ۷۰۴ در ایران کشت می‌شوند. این واریته‌ها منشأ داخلی دارند و واریته سینگل کراس ۷۰۲ نسبت به سایر واریته‌ها تولید نسبتا بالایی در هکتار داشته و در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ جزو بیشـترین واریته زیر کشت در ایران بود (۷۳). با این وجود، به دلیـل کـم آبـی، شرایط آب و هوایی نامساعد، مقرون به صرفه نبودن کشـت ذرت در ایران و نیاز بالای صنعت دام و طیور بخش زیادی از ذرت دامی لازم از کشورهای مختلف نظیر برزیل، روسیه و اکراین وارد مـی‌شـود. بـر اساس گزارش وزارت صنعت، معدن و تجـارت میـزان ۲۰۹۰ میلیـون دلار ذرت دامی در سال ۱۳۹۷ وارد شـده اسـت کـه دارای رشـد ۳۰ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۶ (۱۵۶۳ میلیون دلار) بود (۵۸). بنابراین تعیین ارزش غذایی، میزان قابلیت هضم و قابلیت دسترسـی نشاسـته واریته‌های تجاری-وارداتی که بخش عمده ذرت مصرفی صنعت دام را تشکیل می‌دهند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار اسـت. لـذا در مطالعـه حاضر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، فرآسنجه‌های تخمیری تولیـد گاز، خصوصیات تجزیه پـذیری شـکمبه‌ای، روده‌ای و کـل دسـتگاه گوارش، میزان ژلاتیناسیون نشاسته و ساختار گرانول‌های نشاسته در ذرت داخلی سینگل کراس ۷۰۲ (به عنوان بالاترین واریته زیر کشت در ایران) و واریته‌های مختلف ذرت‌هـای تجـاری- وارداتـی شـامل روس، اکراین و برزیل (به عنوان منابع اصلی ذرت مـورد اسـتفاده در

۱- رتروگرادیشن: هنگامی که نشاسته دانه حرارت داده شده آب جذب کند، ساختار کریستالین آمیلوز و آمیلوپکتین از بین می‌رود و نشاسته به صورت یک مایع ویزکوز یا ژلاتینه در می‌آید. اگر نشاسته ژلاتینه شده به شدت سرد شود و یا مدت طولانی در دمای پایین قرار گیرد، مولکول‌های خطی آمیلوز و بخش‌هـای خطـی مولکـول آمیلوپکتین دوباره به هم متصل شده و ساختار کریستالین محکمی به‌وجود می‌آورند که نسبت به ساختار کریستالین اولیه نشاسته باندهای هیدروژنی قـوی‌تـری دارد و این سبب کاهش قابلیت هضم نشاسته می‌شود.

گاوداری‌های کشور) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه های آزمایشی

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ انجام شد. دانه ذرت واریته سینگل کراس ۷۰۲ از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد تهیه شد. این واریته به عنوان ذرت غالب زیر کشت در ایران بین سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ معرفی شده است. ذرت‌های تجاری-وارداتی شامل ذرت اکراین، روس و برزیل (بر اساس آخرین آمار جهاد کشاورزی و شرکت‌های وارد کننده ذرت دامی، واریته دقیق ذرت‌های وارداتی مشخص نیست، زیرا از بخش‌های مختلف این کشورها جمع آوری شده و از گمرک‌های مختلف وارد ایران می‌شوند) از اتحادیه دامداران و گاوداران خراسان رضوی دریافت شد. سپس نمونه‌ها جهت انجام آزمایش با استفاده از آسیاب معمول آزمایشگاهی (آسیاب صنعتی توس شکن خراسان، مدل ۸۴۰۰) در اندازه‌های ۱ و ۲ میلیمتر آسیاب شدند.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

دانسیته ظاهری دانه‌های ذرت بر اساس روش هاتجنز و دان (۲۶) از طریق تعیین وزن یک لیتر دانه خام ذرت در واریته‌های مختلف اندازه‌گیری شد و بر اساس واحد کیلوگرم بر لیتر گزارش گردید. ماده خشک (DM)، ماده آلی (CP)، پروتئین خام (CP) (با ضرب مقدار نیتروژن در عدد ۶/۲۵) و عصاره اتری (EE) بر اساس روش‌های AOAC (۳) و مقادیر فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) بر اساس روش آنکوم (۱۹۸۶) تعیین شد؛ آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت و دی سولفیت سدیم جهت آنالیز NDF مورد استفاده قرار گرفت. نشاسته با استفاده از روش آنزیمی (آلفا آمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز) کیت نشاسته تام از شرکت مگازایم ایرلند (AACC Method 76-13.01; Megazyme K-TSTA-100A, example c, 09/2018) آنالیز گردید (آنالیز تقریبی این آزمایش در آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه کنگون کره جنوبی انجام شد). سپس کربوهیدرات‌های غیر فیبری (NFC)، کل مواد مغذی قابل هضم (TDN)، انرژی خاص شیردهی (NE_l) و انرژی خالص رشد برای افزایش وزن (NE_g) بر اساس معادلات NRC (۵۴) محاسبه گردید.

NFC= 100 − (NDF + CP + EE + ash)
TDN (%) = 81.38+(CP*0.36)- (ADF*0.77)
NEl (Mcal kg-1) = [(0.0245*TDN)-0.12]
NEg (Mcal kg-1) = [(0.029*TDN)-1.01]

آزمایش تولید گاز و تخمین فرآسنجه‌های آن

جهت انجام آزمایش تولید گاز، از سه رأس گاو شیری (دارای وزن ۶۵۰ ± ۱۵ kg) مجهز به فیستولای شکمبه به عنوان دهنده مایع شکمبه استفاده شد. گاوها یک هفته قبل از آزمایش با جیره حاوی نسبت علوفه به کنسانتره ۵۰ به ۵۰ در دو نوبت صبح و عصر تغذیه شدند (۵۴). مایع شکمبه قبل از تغذیه صبحگاهی گرفته شد و با استفاده از پارچه متقال ۴ لایه صاف شد. سپس بلافاصله درون یک فلاسک حاوی آب ۳۹ درجه سانتیگراد قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شد. آزمون تولید گاز روی ۲۰۰ میلی‌گرم از ذرت‌های آسیاب شده در اندازه ۱ میلی‌متر و درون بطری‌های شیشه‌ای ۱۲۵ میلی‌لیتری پیشنهاد شده توسط تئودرو و همکاران (۷۹) و در سه سری (ران) انکوباسیون برای هر نمونه و در هر سری ۲ تکرار از هر نمونه انجام شد. محلول‌های بافری مورد نیاز بر اساس روش منک و استینگاس (۵۲) تهیه شدند. فشار گاز تولیدی در ساعات ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعت قرائت شد و سپس حجم گاز تولیدی با تصحیح بر اساس بلانک و به صورت تجمعی از تبدیل فشار به حجم تصحیح شده محاسبه شد (۷۹). داده‌های حجم به دست آمده در مدل میشائیل-منتهن بدون لگ فاز قرار داده شد و فرآسنجه‌های تولید گاز تخمین زده شد (۱۸). سپس فرآسنجه‌هایی نظیر نرخ تجزیه در نیمه عمر سوبسترا (c)، ماکسیمم نرخ تجزیه (MDR) و زمان برای تجزیه ۲۵ و ۷۵ درصد سوبسترا بر اساس معادلات گروت و همکاران (۲۲) به شرح ذیل محاسبه گردید.

GP= A× (Tn / (Tn + kn))
Degradation rate at half-life (c) = n/(2 × k)
Maximal degradation rate (MDR) = (n-1) ((n-1)/n)/k
Time to ferment X% of the substrate = k × ((X / (1-X))(1/n))

که GP حجم گاز تولیدی در زمان T، A پتانسیل تولید گاز، n شاخص تعیین کننده شکل منحنی، K زمان تولید نصف A و X مقدار سوبسترا برابر با ۲۵ و ۷۵ درصد می‌باشد.

بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون سه تکرار از هر تیمار جهت اندازه گیری مقدار pH (Metrohm 691, pH meter) از هر سری انکوباسیون خارج شد. سپس اسیدهای چرب فرار (GC-17A, Shimadzu, Japan, gas chromatograph) و نیتروژن آمونیاکی (بر اساس روش فنول-هیپوکلریت (۸۳)) در مایع رویی بعد از سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سانتیگراد و دور ۸۰۰۰ × g اندازه‌گیری شد. نرم افزار Graphpad Prism 6 جهت رسم نمودارهای تولید گاز تجمعی و نرخ تولید گاز مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش کیسه‌های نایلونی متحرک

قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش ماده

خشک، نشاسته و پروتئین خام با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی متحرک (*In situ* mobile nylon bag) بر اساس سوبوه و همکاران (۷۷) اندازه‌گیری شدند. دو رأس گاو نر (با وزن بدن ۱۵ kg ± ۴۹۰) مجهز به فیستولای شکمبه و کانولای روده‌ای T شکل (در ابتدای روده باریک) مورد استفاده قرار گرفتند. حیوانات با ۵/۳ کیلوگرم علوفه یونجه خشک، ۳/۳ کیلوگرم بر اساس ماده خشک سیلاژ ذرت و ۲/۶ کیلوگرم کنسانتره به ازای هر رأس در ساعات ۸ صبح و ۶ بعد از ظهر تغذیه شدند. از نمونه‌های آسیاب شده در اندازه ۲ میلیمتر جهت این آزمون استفاده شد. تقریبا ۵ گرم نمونه بر اساس ماده خشک (۱۶ کیسه به ازای هر نمونه) درون کیسه‌های پلی استر (۹ × ۱۷ سانتیمتر و روزنه ۵۰ میکرومتر) قرار داده شد و به مدت ۱۲ ساعت درون شکمبه گاوها انکوبه شدند. همه کیسه‌ها به صورت همزمان درون شکمبه بعد از تغذیه صبحگاهی قرار داده شدند و بعد از خروج از شکمبه با استفاده از ماشین لباسشویی تا پدیدار شدن آب زلال شسته شدند و سپس با استفاده از آون (UF30plus, Memmert Gmbh, Germany) در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از باقیمانده هر کیسه بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای، مقدار ۱ گرم درون کیسه‌های پلی‌استر (۳ × ۶ سانتیمتر و روزنه ۵۰ میکرومتر؛ ۸ کیسه برای هر نمونه) قرار داده شد. کیسه‌ها توسط حرارت بسته شدند و سپس از طریق کانولای روده‌ای با نرخ یک کیسه در هر ۳۰ دقیقه وارد ابتدای روده باریک شدند. سپس طی مدت ۱۶ ساعت از مدفوع جمع آوری، شسته و در آون با حرارت ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. مقادیر ماده خشک، پروتئین و نشاسته در نمونه‌های ذرت خام، انکوبه شده در شکمبه، روده و باقیمانده جمع آوری شده از مدفوع اندازه‌گیری شدند. پروتئین این نمونه‌ها با استفاده از دستگاه دوماس (Elementar-N/Protein Analysis, DKSH, New Zealand) و نشاسته بر اساس روش دو آنزیمی آلفا آمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز (Megazyme kit, example c, 9/2018) اندازه‌گیری شد.

آسیب دیدگی نشاسته و ژلاتیناسیون

این بخش از آزمایش در شرکت غله مشهد با استفاده از دستگاه اس دی ماتیک ژوپین (Chopin, ZI Val de Sein, 92390 VLG, France) انجام شد. بدین منظور سه تکرار به ازای هر نمونه (نمونه ها برای ورود به دستگاه باید به اندازه ۱۸۰ میکرومتر آسیاب می‌شدند) در نظر گرفته شد. سپس پارامترهای مختلف آسیب دیدگی نشاسته شامل درصد جذب ید (Iodine Absorption)، میزان آسیب دیدگی نشاسته بر اساس واحد ژوپین (UCD- Chopin units)، میزان آسیب دیدگی نشاسته تصحیح شده بر اساس پروتئین (UCDc basis on protein- Chopin units)، نشاسته آسیب دیده تخمین زده شده به روش استاندارد آنزیمی (AACC 76-31) و عدد فاراند (Farrand) بر اساس روش مدکالف و گیلس (۵۱) تعیین گردید؛ اساس این روش بر ظرفیت جذب ید آرد دانه غلات است که میزان جذب نشاسته آسیب دیده را نشان می‌دهد. همچنین درصد واقعی ژلاتیناسیون نشاسته بر اساس روش دو آنزیمی آلفا آمیلاز قارچی و آمیلوگلوکوزیداز با استفاده از کیت نشاسته آسیب دیده از شرکت مگازایم ایرلند (AACC Method 76-31.01; K-SDAM, 09/2018) اندازه‌گیری شد.

ساختار گرانول‌های نشاسته

تصاویر مربوط به گرانول‌های نشاسته و ماتریکس پروتئینی دانه‌ها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی (LEO 1450 VP, USA scanning electron microscope) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد گرفته شد. دانه کامل ذرت در بهترین سطح خود با استفاده از نیتروژن مایع از وسط به دو نیم تقسیم، سپس روی استاب‌های مخصوص قرار داده شده و یک شب در آون خلاء قرار گرفت. سپس با لایه‌ای از طلا–پولادیوم پوشش داده شد و با استفاده از دستگاه SEM با ولتاژ ۲۵ کیلووات در بزرگنمایی ۲۵۰۰ تصویربرداری شد (۵۰).

آنالیز آماری داده‌های آزمایشی

دانسیته ظاهری، ترکیبات شیمیایی، مقدار pH، نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار و آسیب دیدگی نشاسته در سه تکرار آنالیز آماری شدند؛ درحالیکه داده‌های قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش با ۶ تکرار و داده‌های تولید گاز در سه ران با دو تکرار برای هر نمونه در هر ران (جمعا ۶ تکرار) آنالیز آماری شدند. نرم افزار پریسم (Prism 6.01) برای تخمین پارامترهای تولید گاز بر اساس مدل فرانس و همکاران (۱۸) مورد استفاده قرار گرفت. همه داده‌های آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم افزار آماری SAS (9.1) (۷۲) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت؛ مدل آنالیز آماری شامل $Y = \mu + Tx_i + \varepsilon_{ij}$ بود که Y متغیر آزمایشی، Tx_i اثر تیمار و ε_{ij} اثر خطای آزمایشی بود.

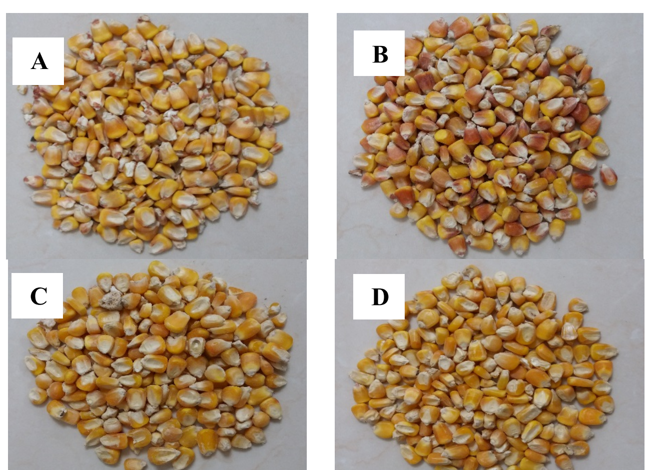
نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

شکل ۱ خصوصیات ظاهری واریته‌های مختلف ذرت را نشان می‌دهد. اندازه دانه‌ها در ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس کوچکتر از ذرت‌های اکراین و برزیل بود. ذرت سینگل کراس ۷۰۲ از لحاظ رنگ، در انتها زرد و در دو طرف زرد مایل به قهوای؛ از لحاظ شکل، انتهای پهن و نوک کشیده؛ از لحاظ اندوسپرم، دارای اندوسپرم آردی در مرکز و سر دانه و اندوسپرم شیشه‌ای در دیواره‌های انتهایی

بود. مقدار اندوسپرم آردی آن بیشتر از سایر ذرت‌ها به خصوص بیشتر از ذرت برزیل بود. ذرت روس از لحاظ رنگ، زرد مایل به قهوه‌ای؛ از لحاظ شکل، مشابه ذرت سینگل کراس ۷۰۲، اما درشت تر؛ از لحاظ اندوسپرم، مشابه ذرت سینگل کراس ۷۰۲ بود. اندوسپرم شیشه‌ای آن اندکی از سینگل کراس ۷۰۲ بیشتر و از ذرت برزیل کمتر مشاهده شد. ذرت اکراین از لحاظ رنگ، زرد؛ از لحاظ شکل، اندکی درشت‌تر از ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و روس؛ از لحاظ اندوسپرم، دارای اندوسپرم آردی بالایی بود. اما ذرت برزیل از لحاظ رنگ، زرد؛ از لحاظ شکل، دارای اندازه کوچکتر از سایر دانه‌ها، انتهای پهن و با کشیدگی کمتر به سمت نوک دانه؛ از لحاظ اندوسپرم، مقدار بالای اندوسپرم شیشه‌ای نسبت به آردی در آن به وضوح قابل مشاهده بود.

در راستای مطالعه حاضر، ژیرکوا و همکاران (۸۸) شش واریته ذرت روسیه (Uralskiy150، White، Orange، Brown، Grey و Rubin) را بررسی و نشان دادند که هیبرید Uralskiy150 به عنوان یک هیبرید معمولی ذرت دارای رنگ زرد، دانه‌های کوچک، انتهای پهن، شکل دراز و سطح صاف و شفاف بود. اندوسپرم آردی و شیشه‌ای در این واریته به خوبی قابل تشخیص بود به طوری‌که اندوسپرم آردی در مرکز و سر دانه توسعه یافته و یک حالت تو رفتگی در سر دانه ایجاد کرده و اندوسپرم شیشه‌ای در دیواره‌های انتهایی ذرت مشاهده شد. همچنین واریته White را متعلق به واریته‌های معمولی ذرت دانستند و گزارش کردند که این واریته دارای رنگ سفید شیری، دانه‌های بزرگ، انتهای پهن، شکل دراز و سطح صاف و روشنی می‌باشد. همچنین اظهار کردند که در این واریته اندوسپرم آردی و شیشه‌ای به وضوح قابل تشخیص بود. با این وجود این محققین نشان دادند که سایر هیبریدهای ذرت Orange، Brown، Grey و Rubin متعلق به واریته فلینت بودند و از لحاظ رنگ به ترتیب رنگ‌های نارنجی، قهوه‌ای، خاکستری و قهوه‌ای مایل به سیاه داشتند. از لحاظ شکل، هر چهار واریته دارای دانه‌های کوچک، ته گرد، نوک دراز، حالت سفت و فشرده، بخش‌های بغل گرد، انتهای محدب و سطح پهن و روشنی داشتند. همچنین از لحاظ اندوسپرم، اندوسپرم شیشه‌ای به ندرت روی بخش‌های انتهایی آنها مشاهده شد، اما اندوسپرم آردی در مرکز و بخش بالایی این دانه‌ها به خوبی قابل مشاهده بود. لذا می‌توان اشاره کرد که ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲، روس و اکراین عمدتا دارای اندسپرم آردی و ذرت برزیل دارای اندوسپرم شیشه‌ای بودند. ذرت برزیل حالت سفتی و فشردگی بیشتری نسبت به سایر ذرت‌ها داشت و این نتایج همسو با وزن حجمی بالاتر ذرت برزیل نسبت به سایر ذرت‌ها بود. با توجه به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای در دیواره‌های جانبی ذرت روس وارداتی به ایران، به نظر می‌رسد ذرت روس احتمالا هیبرید قهوه‌ای یا تلاقی هیبرید قهوه‌ای با سایر هیبریدهای روسیه باشد، اما متأسفانه اطلاعات دقیقی از نوع هیبریدهای وارداتی به ایران وجود ندارد. همچنین مطالعات نشان دادند که نسبت بالای نشاسته نرم به سخت می‌تواند فرآوری دانه را سخت‌تر کند، زیرا هنگام فلیک‌کردن، هیبریدهای آردی تولید فلیک‌های شکسته کرده و ذرات ریز زیادی بعد از فرآوری دانه مشاهده می‌شود (۵۹). کارخانجات خوراک دام هنگام استفاده از هیبریدهای با نشاسته آردی نسبت به هیبریدهای با نشاسته شیشه‌ای تمایل کمتری به تولید فلیک نشان داده‌اند (۵۹).



شکل ۱- واریته‌های مختلف ذرت (A: ذرت ایرانی سینگل کراس ۷۰۲، B: ذرت روس، C: ذرت اکراین و D: ذرت برزیل)

Figure 1- Different corn varieties (A: Iranian single cross 702 corn; B: Russia corn; C: Ukraine corn; D: Brazil corn)

در جدول ۱ ملاحظه می‌شود که دانسیته ظاهری (وزن حجمی) ذرت برزیل در مقایسه با سایر ذرت‌ها به طور معنی‌داری بالاتر بود (P<۰/۰۵). ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و اکراین دانسیته ظاهری مشابه، اما کمتر از ذرت روس نشان دادند (P<۰/۰۵). ماده خشک، ماده آلی و چربی خام بین ذرت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداد (P>۰/۰۵). پروتئین، ADF، NDF، نشاسته، NFC، TDN، NEl و NEg به طور معنی‌داری بین ذرت‌های مورد بررسی متفاوت بودند (P<۰/۰۵). مقدار پروتئین خام در دامنه ۷/۳۰ تا ۷/۴۵ درصد قرار داشت و ذرت سینگل کراس ۷۰۲، اکراین و برزیل پروتئین خام مشابه، اما بیشتر از ذرت روس نشان دادند (P<۰/۰۵). مقدار NDF و ADF به ترتیب در دامنه ۹/۸۱ تا ۱۳/۴۲ و ۳/۴۸ تا ۵/۳۰ درصد قرار داشتند و در ذرت برزیل به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ذرت‌ها بود (P<۰/۰۵)؛ نشاسته ذرت ایرانی (۶۹/۰۳ درصد) به طور معنی‌داری پایین‌تر از ذرت‌های اکراین (۷۰/۳۶ درصد)، روس (۷۱/۰۴ درصد) و برزیل (۷۱/۴۹ درصد) بود (P<۰/۰۵)؛ ذرت برزیل حدود ۱/۵ درصد نشاسته بیشتری نسبت به ذرت سینگل کراس ۷۰۲ داشت. مقادیر NFC، TDN، NE_l و NE_g بین واریته‌های سینگل کراس ۷۰۲، اکراین و روس تفاوتی نداشت (P>۰/۰۵)، اما در ذرت برزیل به طور معنی‌داری کمتر از سایر ذرت‌ها بود (P<۰/۰۵).

در راستای مطالعه حاضر، لی و همکاران (۴۰) دانسیته ظاهری چهار واریته ذرت چینی LS1، LS2، LS3 و LS4 را به ترتیب ۰/۷۱۶، ۰/۷۵۸، ۰/۷۳۸ و ۰/۷۶۵ کیلوگرم در لیتر گزارش کردند. سانجیتا و گراول (۷۱) دانسیته حجمی ۰/۷۳ و ۰/۷۴ گرم بر میلی‌لیتر را برای دو واریته ذرت هندی (HQPM1 و HQPM7) گزارش نمودند که مشابه با دانسیته ظاهری ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲، روس و اکراین در مطالعه حاضر بود. دانسیته ظاهری ذرت برزیل (۰/۸۱۷) بالاتر از مطالعات لی و همکاران (۴۰) و سانجیتا و گراول (۷۱) مشاهده شد. سانجیتا و گراول (۷۱) ماده خشک ۹۰/۸۷ و ۹۰/۸۴ درصد، ماده آلی ۹۸/۵۶ و ۹۸/۶۳ درصد، پروتئین ۱۰/۹۵ و ۱۱/۰۲ درصد، چربی ۴/۶۷ و ۴/۶۶ درصد و کل کربوهیدرات‌های ۸۰/۶۲ و ۸۰/۳۲ درصد را به ترتیب برای ذرت‌های HQPM1 و HQPM7 گزارش نمودند. همچنین ژیرکوا و همکاران (۸۸) با مطالعه روی شش واریته ذرت روسیه (Uralskiy150، White، Orange، Brown، Grey و Rubin) نشان دادند که مقدار پروتئین دانه‌ها از ۸/۷۵ تا ۱۰/۹۲ درصد متغیر بود که بیشترین پروتئین را واریته Uralskiy150 با مقدار ۱۰/۹۲ درصد و کمترین را واریته Rubin با مقدار ۸/۷۵ درصد داشتند. بر اساس گزارش آنها نشاسته در دامنه ۴۳ تا ۶۵ درصد قرار داشت و واریته Uralskiy150 با مقدار ۶۵/۱۵ درصد بیشترین میزان نشاسته و واریته Brown با مقدار ۴۳/۳۸ درصد کمترین میزان نشاسته را داشتند. این محققین مقدار چربی را در واریته‌های Rubin و Orange به ترتیب ۴/۱۸ و ۴/۱۱ درصد و در واریته‌های Grey و Brown زیر ۲ درصد گزارش کردند. نشان داده شده است که معمولا واریته‌های ذرت دارای چربی بالا جهت استخراج روغن ذرت استفاده می‌شوند (۸۸). واریته‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر، پروتئین کمتر اما نشاسته بالاتری نسبت به مطالعه ژیرکوا و همکاران (۸۸) نشان دادند. زیلیک و همکاران (۸۹) با بررسی هشت واریته ذرت کشور صربستان شامل ZP504su، ZP531su، ZP74b، ZP611k، ZP704ux، ZP-Rumenka، ZP434 و ZP633 به ترتیب مقدار پروتئین ۱۳/۲۷، ۱۲/۰۱، ۱۰/۴۹، ۱۲/۴۱، ۱۱/۱۴، ۱۱/۴۲، ۱۰/۴۲ و ۱۰/۱۳ درصد، نشاسته ۵۵/۳۲، ۵۴/۵۹، ۶۷/۱۹، ۶۷/۱۴، ۶۹/۰۱، ۶۵/۳۸، ۶۷/۹۲ و ۶۹/۹۲ درصد، NDF ۱۴/۷۲، ۱۴/۰۷، ۱۱/۸۷، ۱۲/۰۶، ۱۲/۴۳، ۱۱/۰۲، ۱۱/۱۳ و ۱۲/۴۱ درصد و ADF ۴/۴۳، ۴/۴۸، ۴/۲۲، ۴/۷۶، ۳/۷۹، ۳/۹۶، ۳/۹۲ و ۳/۶۳ درصد را گزارش کردند. همچنین ژانگ و همکاران (۸۷) میانگین ماده خشک، نشاسته، چربی خام، NDF، ADF، پروتئین خام، خاکستر و انرژی خام در یک واریته معمولی ذرت چین را حدود ۸۴/۴۶، ۷۳/۰۶، ۴/۱۵، ۱۳/۱۴، ۲/۵۲، ۸/۶۶، ۱/۳۲ درصد و ۱۸/۴۸ مگاژول در کیلوگرم گزارش کردند. این محققین نشان دادند که عواملی نظیر واریته، محل رشد، روش خشک‌کردن دانه، مدت ذخیره و سال کشت ترکیب شیمیایی دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۷، ۳۶ و ۶۹). مطالعات بسیاری ترکیب شیمیایی انواع ذرت‌های معمولی برای تغذیه دام را بررسی کرده‌اند (۴۰ و ۴۱) و گزارش نمودند که شرایط آب و هوایی بعد از واریته مهمترین نقش را در اختلاف در ترکیب مواد مغذی در دانه‌های ذرت دارد (۸۷). مدت زمان آفتابی سال، میانگین دما، میزان بارندگی و رطوبت نسبی توانسته مقدار نشاسته، پروتئین خام و چربی خام را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد (۱۹، ۳۸ و ۸۱). همچنین اختلافات در شرایط اگرونومیک خاک مثل باروری نیتروژن و فراهمی آب می‌تواند میزان پروتئین و لیزین را در ذرت معمولی تحت تأثیر قرار دهد (۳۳). مطالعات انجام شده توسط کنیپ و همکاران (۳۳) پیشنهاد کردند باروری نیتروژن در ذرت معمولی اگر چه پروتئین را افزایش می‌دهد، اما تأثیری بر ارزش غذایی ذرت برای جوجه‌ها نداشته است. همچنین مطالعات نشان دادند که واریته‌های حاوی روغن، لیزین و تریپتوفان بالا در تغذیه انسان استفاده می‌شوند، اما واریته‌های زرد معمولی برای تغذیه دام مورد استفاده قرار می‌گیرند (۷۵).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های وارداتی[۱]

Table 1- Physical and chemical properties of Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn[1]

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی Physical and chemical properties	واریته‌های مختلف ذرت Different types of corn واریته سینگل کراس ۷۰۲ Single crass 702	روس Russia	اکراین Ukraine	برزیل Brazil	SEM	P-Value
دانسیته ظاهری (کیلوگرم بر لیتر) Apparent density (kg/L)	0.713 ^{c}	0.789 ^{b}	0.712 ^{c}	0.817 ^{a}	0.01	<0.001
ماده خشک (٪) Dry Matter (%)	90.94	90.89	90.86	90.84	0.02	0.483
ماده آلی (٪) Organic Matter (%)	98.64	98.78	98.73	98.84	0.03	0.120
پروتئین خام (٪) Crude Protein (%)	7.37 ^{ab}	7.30 ^{b}	7.45 ^{a}	7.40 ^{ab}	0.02	0.048
فیبر نامحلول در شوینده خنثی (٪) Neutral Detergent Fiber (NDF) (%)	9.81 ^{b}	11.78 ^{ab}	10.33 ^{b}	13.42 ^{a}	0.49	0.008
فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (٪) Acid Detergent Fiber (ADF) (%)	3.58 ^{b}	3.48 ^{b}	3.59 ^{b}	5.30 ^{a}	0.27	0.014
چربی (٪) Eater Extract (%)	3.91	3.35	3.39	3.57	0.13	0.459
نشاسته (٪) Starch (%)	69.03 ^{b}	71.04 ^{ab}	70.36 ^{ab}	71.49 ^{a}	0.35	0.039
کربوهیدرات غیر فیبری (٪) Non-Fiber Carbohydrate (NFC) (%) [2]	77.54 ^{a}	76.34 ^{a}	77.54 ^{a}	74.44 ^{b}	0.41	0.001
کل مواد مغذی قابل هضم (٪) Total Digestible Nutrient (TDN) (%) [3]	81.27 ^{a}	81.32 ^{a}	81.29 ^{a}	79.96 ^{b}	0.21	0.015
انرژی خالص شیردهی (مگاکالری بر کیلوگرم) Net Energy of Lactation (NEl) (Mcal/kg) [4]	1.87 ^{a}	1.87 ^{a}	1.87 ^{a}	1.83 ^{b}	0.05	0.017
انرژی خالص افزایش وزن (مگاکالری بر کیلوگرم) Net Energy of gain (NEg) (Mcal/kg) [5]	1.34 ^{a}	1.34 ^{a}	1.34 ^{a}	1.30 ^{b}	0.06	0.006

[۱]میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی دار می باشند (P<0.05)

[1] Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).
[2]NFC = 100 - (CP + NDF + Fat + Ash)
[3]TDN = (81.38+ (CP × 0.36) – (ADF × 0.77))
[4]NEl = ((0.0245 × TDN) – 0.12)
[5]NEg = ((0.029 × TDN) – 1.01)

تولید گاز و فرآسنجه‌های تخمیری

در جدول ۲ نشان داده شده است که پتانسیل تولید گاز و شاخص تعیین کننده شکل منحنی (n) اختلاف معنی‌داری بین ذرت‌های مختلف نداشت (P>۰/۰۵). زمان رسیدن به نصف پتانسیل تولید گاز (K) در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و روس به طور معنی‌داری کمتر از ذرت برزیل بود (P<۰/۰۵). مقدار گاز تجمعی تولید شده در مدت ۴۸ و ۲۴ ساعت در ذرت برزیل، روس و سینگل کراس ۷۰۲ نسبت به ذرت اکراین به طور معنی‌داری بالاتر (P<۰/۰۵) بود. مقدار گاز تجمعی تولید شده بعد از ۱۲ و ۶ ساعت انکوباسیون اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف ذرت نشان نداد (P>۰/۰۵)، هر چند ذرت سینگل کراس ۷۰۲ روند بالاتری از تولید گاز را طی ساعات اولیه انکوباسیون نشان داد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت انکوباسیون مقدار pH محیط کشت به طور معنی‌داری در ذرت روس کمتر از سایر ذرت‌ها بود (P<۰/۰۵)؛ درحالی‌که غلظت نیتروژن آمونیاکی و کل اسیدهای چرب فرار بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون به طور معنی‌دار تحت تأثیر واریته‌های مختلف ذرت قرار نگرفت (P>۰/۰۵)؛ ذرت برزیل در مقایسه با سایر ذرت‌ها نسبت مولی استات بالاتر (P<۰/۰۵) و نسبت مولی پروپیونات کمتری (P<۰/۰۵) نشان داد؛ درحالی‌که ذرت روس نسبت مولی استات کمتر (P<۰/۰۵) و نسبت مولی پروپیونات بالاتری (P<۰/۰۵) در مقایسه با ذرت برزیل تولید کرد. نسبت استات به پروپیونات در ذرت برزیل بالاترین و در ذرت روس کمترین مقدار را داشت (P<۰/۰۵)، اما در ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و اکراین مشابه بود. غلظت ایزوبوتیرات، بوتیرات و ایزووالرات در ذرت اکراین بالاتر (P<۰/۰۵) از سایر ذرت‌ها بود، اما والرات اختلاف معنی‌داری بین ذرت‌های مختلف نداشت. نرخ تولید گاز در زمان نصف

تجزیه ماده خشک (c) و بیشترین میزان نرخ تولید گاز (MDR) اختلاف معنی‌داری بین ذرت‌های مختلف نشان نداد (P>۰/۰۵). زمان لازم برای تخمیر ۲۵ و ۷۵ درصد سوبسترا در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت اکراین و برزیل کمتر (P<۰/۰۵) بود که نشان دهنده سرعت بالاتر تخمیر در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت برزیل و اکراین بود. قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم در ذرت برزیل و بعد از آن در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ بالاتر بود و ذرت روس و اکراین به ترتیب در درجات پایین‌تر قرار گرفتند.

بر اساس مطالعات چایی و همکاران (۶) تولید گاز در شرایط *in vitro* تخمینی معتبر از کنتیک تخمیر شکمبه‌ای برای دانه‌های غلات است و هردوی میزان و نرخ تولید گاز همبستگی مثبتی با تجزیه شکمبه‌ای نشاسته دارند (۸ و ۶۲). اندوسپرم سخت (شیشه‌ای یا ویترئوس) از گرانول‌های نشاسته‌ای تشکیل شده است که توسط ماتریکس پروتئینی به صورت فشرده و محکم احاطه شده است، درحالی‌که اندوسپرم نرم (آردی) حاوی مقادیر بیشتری از گرانول‌های نشاسته‌ای است که بسیار ضعیف توسط پروتئین‌ها بسته‌بندی شده‌اند. ماتریکس پروتئینی قوی دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه را به نشاسته دانه محدود می‌کند و عامل اصلی در کاهش نرخ تخمیر شکمبه‌ای نشاسته در مقایسه با دانه‌های ذرت دارای ماتریکس پروتئینی ضعیف است (۴۹ و ۷۰). ونزیل (۸۲) در مطالعات خود نشان داد که حجم گاز تولیدی و نرخ تولید گاز در ذرت‌های دارای اندوسپرم نرم نسبت به اندوسپرم سخت بیشتر و سریعتر بود. تولید گاز و سرعت تخمیر بالاتر در ذرت‌های نرم در مطالعات سایرین نیز گزارش شده است (۲، ۹، ۱۷، ۲۳، ۵۵، ۵۶، ۶۵ و ۷۸). به نظر می آید احتمالا میزان بالای اندوسپرم آردی، اندازه کوچکتر و تعداد بیشتر گرانول‌های نشاسته در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ (شکل‌های ۱ و ۴) که سبب افزایش سطح تماس نشاسته و میزان تخمیر می‌شود، زمان رسیدن به ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد سوبسترا را در محیط کشت کوتاه‌تر کرده است. اما ذرت برزیل به دلیل داشتن دیواره سلولی قوی‌تر، با توجه به مقدار بالای NDF به عنوان مانعی در مقابل هضم میکروبی، زمان زیادی لازم دارد تا به نصف پتانسیل تولید گاز خود برسد و بعد از شکسته شدن دیواره سلولی در ساعات پایانی انکوباسیون تولید گاز آن افزایش یافته است. همچنین ممکن است به دلیل بالا بودن دانسیته ظاهری و فشردگی در ذرت برزیل آزاد سازی انرژی از اندوسپرم دانه توسط میکرواورگانیسم‌ها به کندی صورت بگیرد. در این راستا، ساختار گرانول‌های نشاسته (شکل ۴) نشان دهنده وجود تراکم بالای گرانول‌های نشاسته و اتصالات زیاد ماتریکس پروتئینی بین گرانول‌های نشاسته در ذرت برزیل است که عامل اصلی جلوگیری از تجزیه سریع نشاسته توسط میکروارگانیسم‌ها است. همچنین نتایج نشان داد که زمان تجزیه شدن ۷۵ درصد از سوبسترا در ذرت برزیل با حدود ۲۵/۶۴ ساعت، بالاتر از سایر دانه‌ها بود. با این وجود، میزان گاز تولید شده بالاتر بعد از گذشت ۴۸ ساعت انکوباسیون در ذرت برزیل می‌تواند تأییدی بر این فرض باشد که برای شکستن دیواره سلولی و ماتریکس پروتئینی میکروارگانیسم‌ها نیاز به زمان بیشتری داشتند تا به گرانول‌های نشاسته دسترسی پیدا کرده و آنها را هضم کنند. ونزیل (۸۲) گزارش کرد که حجم و نرخ تولید گاز در ذرت‌های نرم به طور معنی‌داری بالاتر از ذرت‌های سخت بود و دلیل آن را به تراکم زیاد گرانول‌های نشاسته و ماتریکس پروتئینی قوی‌تر در ذرت‌های سخت نسبت داد. نگونیامو-ماجی و همکاران (۵۷) نیز نشان دادند بین اندوسپرم نرم و قابلیت هضم نشاسته دانه ذرت همبستگی مثبت بسیار قوی وجود دارد (R =۰/۹۳). در این دانه‌ها تراکم بین گرانول‌های نشاسته پایین و گرانول‌ها در اندازه‌های مختلف و با اتصالات ضعیف کنار هم قرار گرفتند که این ویژگی سبب افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌ها به گرانول‌های نشاسته و افزایش قابلیت هضم آنها می‌شود. دانشای و همکاران (۱۴ و ۱۵) نیز گزارش کردند که دانه‌های ذرت دارای اندوسپرم نرم به راحتی توسط میکروارگانیسم‌ها در شرایط *in vitro* هضم می‌شوند. همچنین همسو با نتایج مطالعه حاضر، این محققین گزارش کردند که نرخ و میزان تخمیر نشاسته و مقدار اسید پروپیونیک در مایع شکمبه در محیط کشت حاوی ذرت‌های نرم بالاتر از ذرت‌های سخت بود. چن و همکاران (۷) نیز نشان دادند که افزایش تخمیر نشاسته در شکمبه با افزایش میزان اسید پروپیونیک در بین سایر اسیدهای چرب فرار توأم است و در ذرت‌های دارای ویترئوسنس بالا که نرخ هضم نشاسته پایین‌تری دارند، میزان اسید پروپیونیک کاهش یافت. نتایج حاصل از مطالعه حاضر با توجه به اسکن‌های الکترونی گرفته شده از ساختار اندوسپرم دانه‌های ذرت (شکل ۴) تأیید می‌گردد.

نمودار A در شکل ۲ نشان می‌دهد که در ساعات اولیه انکوباسیون (از زمان شروع تا ۱۲ ساعت بعد از انکوباسیون) ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت‌های برزیل و اکراین سطح تولید گاز بیشتری نشان دادند، اما بعد از زمان ۱۲ ساعت، ذرت برزیل میزان تولید گاز بالاتری از خود نشان داد و مقدار تولید گاز در ساعت ۲۴ انکوباسیون در ذرت برزیل بیشتر از سایر ذرت‌ها بود و این روند افزایشی تا ۴۸ ساعت انکوباسیون ادامه داشت. در نمودار B مشاهده شد که نرخ لحظه‌ای تولید گاز در ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس در ساعات ۲ و ۴ انکوباسیون بیشترین مقدار را داشت و ذرت سینگل کراس ۷۰۲ تا ۸ ساعت انکوباسیون بالاترین نرخ لحظه‌ای تولید گاز را نشان داد؛ اما ذرت برزیل در ساعات اولیه انکوباسیون پایین ترین نرخ لحظه‌ای تولید گاز را ایجاد کرد. از ساعت ۸ تا ۲۴ انکوباسیون ذرت برزیل با سرعت بالاتری تولید گاز را ادامه داد؛ اما از زمان ۲۴ تا ۴۸ ساعت انکوباسیون نرخ لحظه‌ای تولید گاز بین انواع مختلف واریته‌های ذرت مشابه بود.

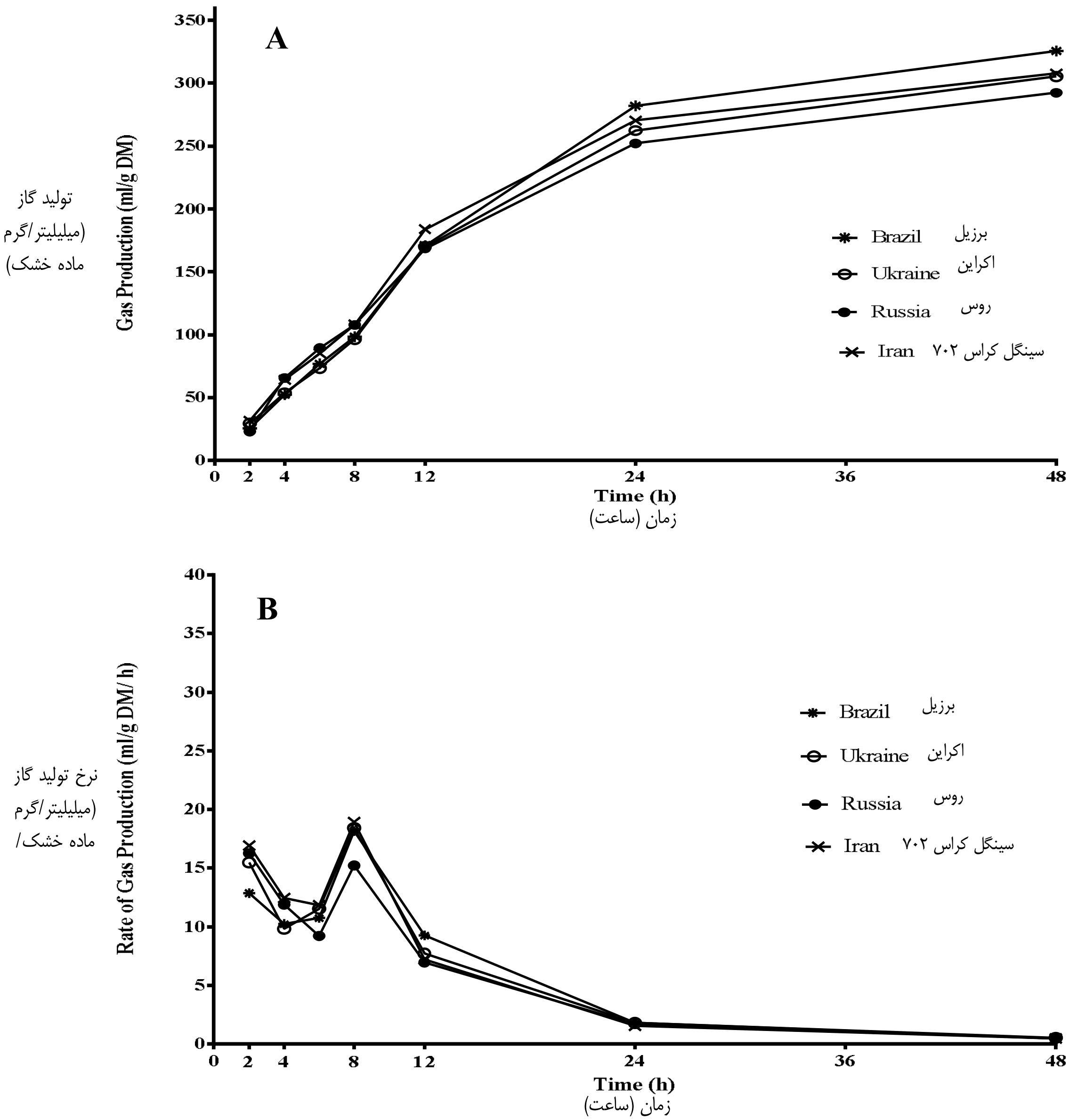
جدول ۲- فرآسنجه‌های تخمیری تولید گاز ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های وارداتی[۱]

Table 2- Gas production fermentation parameters of Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn[1]

فرآسنجه‌های تخمیری تولید گاز Gas production fermentation parameters	واریته‌های مختلف ذرت Different types of corn				SEM	P-Value
	واریته سینگل کراس ۷۰۲ Single crass 702	روس Russia	اکراین Ukraine	برزیل Brazil		
پتانسیل تولید گاز (میلی لیتر) A=asymptote gas production (mL)	347.30	341.07	335.60	366.70	5.40	0.193
شاخص تعیین کننده شکل منحنی n= value determining the shape of the curve	1.56	1.71	1.45	1.70	0.05	0.145
زمان تولید نصف پتانسیل گاز تولیدی (ساعت) K= time to produce half of A (h)	11.69 c	12.06 bc	12.46 b	12.97 a	0.15	0.002
مقدار گاز واقعی تولید شده تا ۴۸ ساعت انکوباسیون (میلیلیتر بر گرم ماده خشک) GP (48) (ml/g DM)[2]	312.96 ab	309.54 ab	295.86 b	331.24 a	4.61	0.023
مقدار گاز واقعی تولید شده تا ۲۴ ساعت انکوباسیون (میلیلیتر بر گرم ماده خشک) GP (24) (ml/g DM)	262.28 ab	255.80 ab	245.40 b	271.94 a	3.60	0.031
مقدار گاز واقعی تولید شده تا ۱۲ ساعت انکوباسیون (میلیلیتر بر گرم ماده خشک) GP (12) (ml/g DM)	177.24	164.85	167.20	171.20	2.45	0.330
مقدار گاز واقعی تولید شده تا ۶ ساعت انکوباسیون (میلیلیتر بر گرم ماده خشک) GP (6) (ml/g DM)	90.39	77.73	89.24	77.17	2.67	0.169
PH در زمان ۲۴ ساعت PH 24h	6.37 ab	6.34 b	6.46 a	6.41 ab	0.02	0.058
نیتروژن آمونیاکی در زمان ۲۴ ساعت (میلیگرم بر دسی لیتر) $N\text{-}NH_3$ 24h (mg/dl)	19.13	18.65	22.48	20.47	0.74	0.276
کل اسیدهای چرب فرار در زمان ۲۴ ساعت (میلی مول بر میلیلیتر) Total VFA 24h (Mmol/ml)	70.08	73.61	68.15	68.41	0.92	0.107
استات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Acetate 24h (% Mol)	60.14 ab	58.20 b	59.34 b	62.94 a	0.60	0.007
پروپیونات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Propionate 24h (% Mol)	26.95 ab	28.92 a	25.22 ab	23.24 b	0.74	0.013
ایزوبوتیرات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Is butyrate 24h (% Mol)	0.87 b	0.79 b	1.20 a	0.66 b	0.06	0.001
بوتیرات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Butyrate 24h (% Mol)	8.88 b	8.77 b	10.49 a	9.02 b	0.24	0.008
ایزووالرات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Iso valerate 24h (% Mol)	1.50 ab	1.16 b	2.16 a	1.98 ab	0.15	0.031
والرات در زمان ۲۴ ساعت (درصد مولی) Valerate 24h (% Mol)	1.16	2.15	1.57	2.14	0.13	0.212
نسبت استات به پروپیونات در زمان ۲۴ ساعت Acetic to propionic ratio 24h	2.23 ab	2.01 b	2.36 ab	2.72 a	0.09	0.012
نرخ تولید گاز در نقطه ای که نصف تجزیه رخ داده c= Degradation rate at half-life [3]	0.067	0.066	0.060	0.066	0.01	0.269
بیشترین میزان نرخ تولید گاز MDR= Maximal degradation rate [4]	0.989	0.989	0.980	0.989	0.01	0.125
زمان برای تخمیر ۲۵ درصد سوبسترا (ساعت) Time to ferment 25% of the substrate (h) [5]	5.79 bc	5.67 c	6.50 ab	6.82 a	0.16	0.003
زمان برای تخمیر ۷۵ درصد از سوبسترا (ساعت) Time to ferment 75% of the substrate (h)	23.60	25.67	24.46	24.51	0.34	0.372
قابلیت هضم ماده آلی (درصد) OMD (%) [6]	62.98 ab	61.57 ab	59.74 b	65.03 a	0.72	0.031
انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری بر کیلوگرم) ME (Mcal/kg) [7]	9.98 ab	9.42 ab	9.09 b	10.04 a	0.13	0.033

[۱] میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی دار می باشند (P<0.05)

[1] Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).
[2] $GP= A\times(T^n/(T^n*K^n))$
[3] Degradation rate at half-life $(c)= n/(2\times K)$
[4] Maximal degradation rate $(MDR)= (n-1)^{((n-1)/n))/K}$
[5] Time to ferment X% of the substrate= $K\times ((X/1-X)^{(1/n)}$, where X = 25, 75.
[6] Organic Matter Digestibility= (14.88+(0.889×GP24)+((0.45×CP)/100)+((0.065×Ash)/100)
[7] Metabilisable Energy= (1.06+(0.157×GP24)+(0.008×CP)+(0.022×EE)-(0.0081×Ash)



شکل ۲- میزان (A) و نرخ گاز تولیدی (B) در ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی

Figure 2- Extent and rate of gas production of Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn

همراستا بـا نتـایج مطالعـه حاضـر، ونزیـل (۸۲) نشـان داد کـه تجزیـه‌پـذیری نشاسـته در نقطـه‌هـای زمـانی ۶، ۱۲ و ۲۴ سـاعت انکوباسیون شکمبه‌ای بین واریتـه‌هـای مختلـف ذرت متفـاوت بـود. هافمن و همکاران (۲۴) نیز نشان دادند که تجزیه‌پذیری نشاسته ذرت با ورود نشاسته به شکمبه شروع می‌شود و بعد از ۴ ساعت انکوباسیون به سرعت افزایش یافته و در زمان ۶ یا ۷ ساعت به پیک خود می‌رسد و بعد از آن کاهش می‌یابد و در ۲۴ ساعت تجزیه‌پذیری نشاسته بویژه در ذرت‌های نرم به کمترین مقدار خود مـی‌رسـد. چنـین نتـایجی در مطالعه حاضر نیـز مشـاهده شـد، بـه طـوری کـه در سـاعات اولیـه انکوباسیون (از زمان شروع تا ۱۲ ساعت بعد از انکوباسیون) ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت‌های برزیل و اکراین تولید گاز بیشتری نشان دادند، اما بعد از ۱۲ ساعت انکوباسیون تولیـد گـاز

آنها کاهش یافت. محققان گزارش کردند که تا ۲۴ ساعت انکوباسیون حدود ۸۰ درصد نشاسته تجزیه می‌شود و ناپدیدی نشاسته در ساعات ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت در ذرت‌های سخت نسبت به ذرت‌های نرم به ترتیب ۱۱/۳، ۱۶/۳ و ۸ درصد کاهش می‌یابد (۸۲). همچنین مطالعات هافمن و همکاران (۲۴) نشان دادند که نرخ تخمیر نشاسته در ذرت سخت نسبت به ذرت نرم به طور معنی‌داری پایین‌تر بود و تا ۴۸ ساعت نشاسته با نرخ آهسته‌تری در ذرت سخت نسبت به ذرت نرم ناپدید شد. محققان بر اساس همبستگی بالای تولید گاز و تجزیه پذیری نشاسته در شرایط *in vitro* فرض کردند که نشاسته ذرت سخت نسبت به ذرت نرم تا رسیدن به حالت پلاتو در ۴۸ ساعت با روند پایین‌تری ناپدید می‌شود (۶ و ۸). در همین راستا، لیز و همکاران (۴۴) در زمان‌های ۸ و ۱۶ ساعت انکوباسیون به ترتیب از ۳۳–۲۴ و ۲۰–۱۸ درصد واحد کاهش خطی در میزان ناپدید شدن نشاسته ذرت سخت نسبت به ذرت نرم مشاهده کردند.

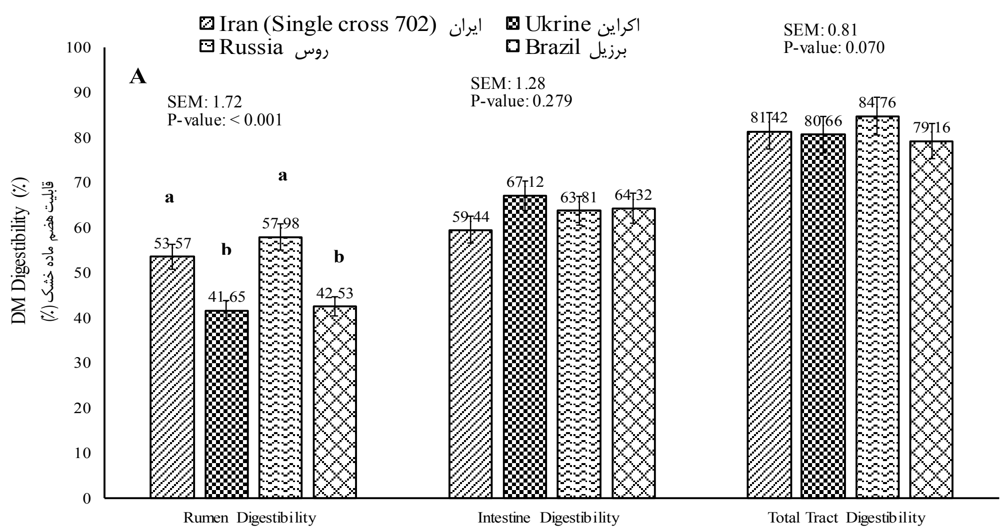
قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش

قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک بین واریته‌های مختلف ذرت اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P<0/05$) (شکل ۳ بخش A). ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت‌های برزیل و اکراین قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک بالاتری داشتند ($P<0/05$). اما قابلیت هضم روده‌ای و کل دستگاه گوارش برای ماده خشک بین واریته‌های مختلف ذرت اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P>0/05$). همچنین قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش برای پروتئین خام بین واریته‌های مختلف دانه ذرت اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P>0/05$) (شکل ۳ بخش B). با این وجود، ذرت برزیل کمترین و ذرت روس بیشترین میزان قابلیت هضم شکمبه‌ای پروتئین خام را داشتند. ذرت‌های ایرانی سینگل کراس ۷۰۲ (۶۱/۵۹ درصد) و روس (۵۹/۵۱ درصد) به طور معنی‌داری قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته بالاتری نسبت به ذرت‌های اکراین (۴۵/۳۱ درصد) و برزیل (۴۰/۵۴ درصد) داشتند ($P<0/05$) (شکل ۳ بخش C). همچنین ذرت‌های برزیل و اکراین قابلیت هضم روده‌ای نشاسته بیشتری نسبت به ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس نشان دادند ($P<0/05$). اما قابلیت هضم کل دستگاه گوارش برای نشاسته بین ذرت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). در مطالعه حاضر، نتایج بدست آمده از آزمایش کیسه گذاری و قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش با نتایج آزمایش تولید گاز در شرایط *in vitro* همخوانی دارد.

راموس و همکاران (۶۸) اختلاف در میزان و محل هضم نشاسته در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان را در واریته‌های مختلف ذرت، به ساختار گرانول‌های نشاسته و میزان ماتریکس پروتئینی بین گرانول‌ها نسبت دادند. به عقیده این محققین، وجود ماتریکس پروتئینی بالا در برخی واریته‌های ذرت مانع تجزیه بیشتر نشاسته در شکمبه توسط میکروارگانیسم‌ها می‌شود. میزان شیشه‌ای بودن نشاسته و وجود سهم بیشتر آمیلوز در نشاسته ذرت نیز از عوامل کاهش هضم نشاسته در شکمبه و عبور به روده باریک معرفی شده‌اند (۲). بعد از ورود نشاسته به روده به دلیل وجود آنزیم‌های آمیلاز ترشح شده از روده باریک پیوندهای گلیکوزیدی بین مولکول‌های نشاسته شکسته شده و نشاسته در روده باریک هضم می‌شود (۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد اندوسپرم آردی در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ به خوبی قابل مشاهده بود (شکل ۱) و ساختار گرانول‌های نشاسته آن دارای توزیع اندازه گرانول‌های ریز و فضاهای خالی اندک بودند و لایه بسیار نازکی از ماتریکس پروتئینی بین گرانول‌های آن مشاهده شد (شکل ۴) که این ویژگی‌ها از خصوصیات اندوسپرم آردی می‌باشد (۴۸) و احتمالا به همین دلیل میزان قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و نشاسته ذرت سینگل کراس ۷۰۲ بالاتر بود. نگونیامو–ماجی و همکاران (۵۷) نشان دادند که ذرت‌های دارای اندوسپرم آردی یا دنت نسبت به ذرت‌های دارای اندوسپرم سخت یا فلینت دارای گرانول‌های نشاسته ریز و ماتریکس پروتئینی ضعیف هستند. این محققین بین اندوسپرم نرم و قابلیت هضم نشاسته دانه ذرت همبستگی بالایی گزارش کردند و نشان دادند در این دانه‌ها تراکم بین گرانول‌های نشاسته پایین و گرانول‌ها در اندازه‌های مختلف و با اتصالات ضعیف کنار هم قرار گرفتند که این ویژگی سبب افزایش قابلیت هضم آنها می‌شود. مطالعات نشان دادند که مقدار آمیلوپکتین در غلات مناطق سردسیری بالا است (۶۱) و همسو با نتایج مطالعه حاضر در ذرت روس که در شرایط آب و هوایی سردتری در مقایسه با ذرت اکراین و برزیل رشد کرده است می‌توان گفت نسبت آمیلوپکتین به آمیلوز در این واریته بالاتر باشد، زیرا اندازه گرانول‌های نشاسته بزرگتر با میزان تراکم کمتر (شکل ۴)، مقدار بالای ژلاتیناسیون نشاسته (شکل ۳) و نرخ بالای تولید گاز (جدول ۲) در ذرت روس بیشتر از ذرت اکراین و برزیل بود. جی و همکاران (۳۰) گزارش کردند که ذرت‌های دارای سطح آمیلوپکتین بالا درجه ژلاتیناسیون نشاسته بالاتری داشتند. اما مطالعات دیگری نشان دادند که قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته بالاتر در ذرت‌های دارای اندوسپرم نرم به کوچک بودن گرانول‌های نشاسته، میزان بالای درجه ژلاتیناسیون و افزایش سطح تماس میکروارگانیسم‌های شکمبه با گرانول‌ها نسبت داده می‌شود (۸۲). درجه بالای شاخه‌دار بودن نشاسته و میزان زیاد آمیلوپکتین در ذرت واکسی نشان داده شده است که منجر به افزایش حساسیت آنزیم‌ها به گرانول‌های نشاسته و افزایش قابلیت هضم آن در شرایط *in vitro* می‌شود (۵۳) و این احتمال وجود دارد که واریته ذرت روس مورد بررسی در این آزمایش از نوع واکسی باشد.

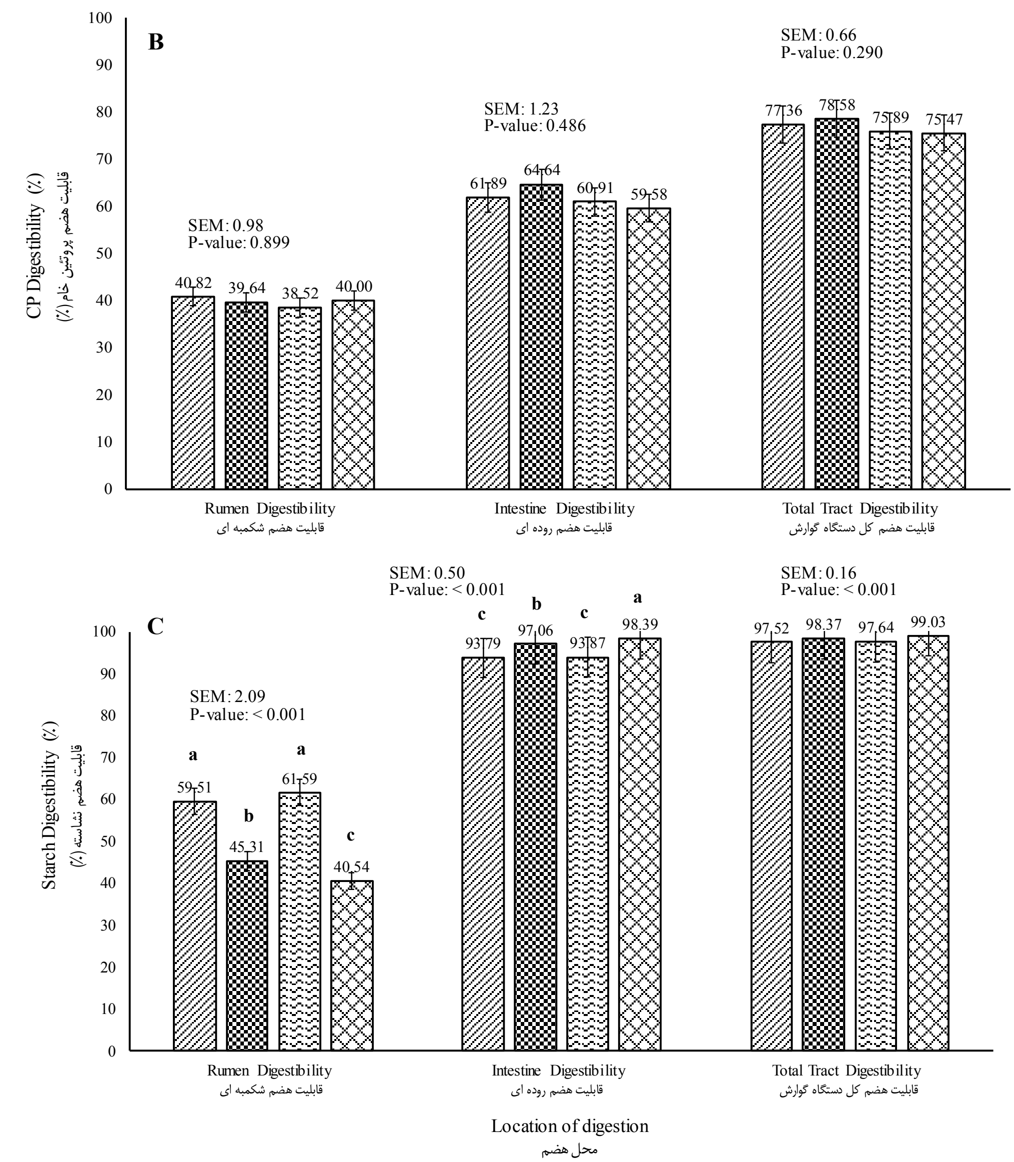
ذرت برزیل قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و نشاسته کمتر و

قابلیت هضم رودهای نشاسته بیشتری نسبت به سایر ذرت‌ها داشت که در راستای نرخ پایین تولید گاز در ساعات اولیه و افزایش تولید گاز در ساعات انتهایی انکوباسیون در این واریته می‌باشد (شکل ۲). مقدار بالای اندوسپرم شیشه‌ای (شکل ۱)، اندازه گرانول‌های نشاسته بزرگ‌تر، تراکم بالای گرانول‌ها، سطح غیر یکنواخت و ماتریکس پروتئینی زیاد بین گرانول‌های نشاسته (شکل ۴) احتمالا از عوامل کـاهش قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و نشاسته در ذرت برزیل می‌باشد و این نتایج می‌تواند به نوع واریته و دمای محیطی بالا بـرای ذرت برزیـل مربوط باشد که در مناطق گرمسیر رشد کرده است (۶۱). ونزیل (۸۲) در مطالعات خود نشان داد که ذرت‌های دارای اندوسـپرم سـخت بـه دلیل داشتن نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین بالاتر در ساختار گرانول‌های نشاسته شان میزان تجزیه‌پذیری نشاسته کمتری نسبت به ذرت‌های حاوی اندوسپرم نرم دارند. چن و همکاران (۷) نیز نشـان دادنـد کـه میزان تخمیر نشاسته در شکمبه در ذرت‌های دارای ویترئوسنس بـالا کاهش یافت. همسو با نتایج این مطالعه، آونز (۵۹) گزارش کرد که در آزمایشات *in situ* میزان هضم شـکمبه‌ای بـرای هیبریـدهای آردی بالاتر از شیشه‌ای بود. فانینگ و همکاران (۱۶) نشان دادند که قابلیت هضم کل دستگاه گوارش برای نشاسته سیلاژ ذرت توسـط گاوهـای شیری برای هیبریدهای دارای اندوسپرم آردی نسبت به هیبریـدهای دارای اندوسپرم شیشه‌ای بالاتر بود. گزارشاتی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد علی‌رغم‌اینکه راندمان و قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش با استفاده از ذرت دارای اندوسپرم آردی افزایش می‌یابد، هیچ تفاوتی در نرخ افزایش وزن بدن (۲۸) و تولید یا ترکیبات شیر بین دو نوع اندوسپرم ذرت مشـاهده نشـده اسـت، زیـرا نشاسـته‌هـای دارای اندوسپرم ویترئوس در نهایت توسط آنزیم‌های آمیلاز در روده باریک هضم می‌شوند (۴۳). همچنین مقادیر بالای NDF در ذرت برزیل در مقایسه با سایر ذرت‌ها مـی‌توانـد دلیلـی بـر کـاهش قابلیـت هضـم شکمبه‌ای ماده خشک و نشاسته برای این ذرت باشد. در ایـن راسـتا زیلیک و همکاران (۸۹) با مطالعه روی هیبریـدهای ذرت صربسـتان نشان دادند که وجود سلولز و همی‌سلولز بالا در هیبریدهای دنت، پاپ و قرمز Rumenka نسبت به ذرت شیرین سبب کاهش قابلیت هضم مـاده خشـک شـد. مقـدار قابلیـت هضـم در ذرت‌هـای ZP504su، ZP531su، ZP434، ZP611k و ZP-Rumenka به ترتیب ۹۳/۶۹، ۹۱/۰۷، ۸۵/۶۴، ۷۹/۸۴ و ۷۲/۱۳ درصد بود. گزارش شده اسـت کـه وجود فیبر بالا به دلیل تداخل با سایر مواد مغذی سبب کاهش قابلیت هضم مواد مغذی می‌شود. سوسولزکی و کادن (۷۶) نشان دادنـد کـه بین مقـدار فیبـر و قابلیـت هضـم مـاده خشـک و نشاسـته در ذرت همبستگی منفـی وجـود دارد. در مطالعـه حاضـر اختلافـی در مقـدار پروتئین و قابلیت هضم آن بین ذرت‌های مختلف مشاهده نشد، با این حال زیلیک و همکاران (۸۹) گزارش کردند اختلافات در قابلیت هضم پروتئین به حساسیت آنزیمی پروتئین‌های ذخیره‌ای اصلی پـرولامین (زئین) در دانه ذرت نسبت داده می‌شود. مقـدار قابلیـت هضـم مـاده خشک به طور منفی با مقـدار پـروتئین زئـین و بـه طـور مثبـت بـا پروتئین‌های آلبومین، گلوبولین و گلوتلین ارتباط دارد (۸۹).



شکل ۳- قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش ماده خشک (A)، پروتئین خام (B) و نشاسته (C) در ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی

Figure 3- Rumen, intestine and total tract digestibility of DM, CP and starch in Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn



ادامه شکل ۳- قابلیت هضم شکمبه‌ای، روده‌ای و کل دستگاه گوارش ماده خشک (A)، پروتئین خام (B) و نشاسته (C) در ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی

Continiuation of Figure 3- Rumen, intestine and total tract digestibility of DM, CP and starch in Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn

ژلاتیناسیون نشاسته

میزان آسیب دیدگی نشاسته و درصد ژلاتیناسیون آن در واریته‌های مختلف دانه ذرت در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص‌های آسیب دیدگی نشاسته نظیر درصد جذب ید، میزان نشاسته آسیب دیده، میزان نشاسته آسیب دیده تصحیح شده بر اساس پروتئین دانه، میزان ژلاتیناسیون تخمین زده شده بر اساس روش AACC 76-31 و عدد فاراند که با استفاده از دستگاه SDMatic بدست آمدند، در ذرت‌های سینگل کراس ۷۰۲ و روس نسبت به ذرت‌های اکراین و برزیل به طور معنی‌داری بالاتر بود (P<۰/۰۵). مقدار واقعی درصد ژلاتیناسیون نشاسته که با روش آنزیمی اندازه‌گیری شد، در راستای داده‌های تخمینی حاصل از دستگاه SDMatic بود. درصد ژلاتیناسیون نشاسته در ذرت روس (۴/۲۴ درصد) و سینگل کراس ۷۰۲ (۴/۱۷ درصد) بالاتر از ذرت برزیل (۳/۳۲ درصد) و اکراین (۳/۷۸ درصد) بود (P<۰/۰۵). ژلاتیناسیون

نشاسته به روش آنزیمی در ذرت اکراین بالاتر از ذرت برزیل نشان داد ($P<0/05$).

ژلاتیناسیون نشاسته به تورم و تغییر برگشت ناپذیر ساختار گرانول‌های نشاسته در اثر اعمال انرژی کافی برای شکستن باندهای هیدروژنی درون ناحیه کریستالین نشاسته گفته می‌شود (۹۰). این انرژی از روش‌های مختلف نظیر آسیاب کردن، رطوبت دادن، حرارت دادن و فشار می‌تواند اعمال شود. نشاسته ذرت حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد ماده خشک و بیش از ۶۰ درصد کل انرژی ذرت را تشکیل می‌دهد (۶۰) و استفاده از انرژی ذخیره شده درون نشاسته ذرت وابسته به ایجاد ژلاتیناسیون و شکست باندهای هیدروژنی درون ناحیه کریستالین است. نشان داده شده است که افزایش درجه ژلاتیناسیون با افزایش میزان قابلیت هضم نشاسته در شکمبه و کل دستگاه گوارش همبستگی مثبت قوی دارد (۳۵). نشاسته‌های آردی نسبت به شیشه‌ای هنگام اعمال انرژی مقدار ژلاتیناسیون بیشتری نشان داده‌اند (۵۳). همچنین در ذرت‌های دارای میزان آمیلوپکتین بالا نسبت به آمیلوز بالا درجه ژلاتیناسیون نشاسته بالاتری مشاهده شده است (۳۵). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان ژلاتیناسیون بالاتر در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ با ساختار پراکنده گرانول‌های نشاسته، توزیع اندازه‌های ریز گرانول‌ها (شکل ۴)، مقدار و نرخ بالای تولید گاز و قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته بالاتر ارتباط دارد و همسو با مطالعات سایر محققین در مورد ذرت‌های دارای نشاسته آردی و میزان آمیلوپکتین بالا است (۳۵ و ۵۳). کوتارا و فوچز (۳۵) نشان دادند که افزایش درجه ژلاتیناسیون نشاسته ذرت سبب افزایش قابلیت هضم کل دستگاه گوارش برای انرژی، NDF و نشاسته در ذرت واکسی نسبت به ذرت معمولی شد و ذرت واکسی را به عنوان یک منبع خوب انرژی جایگزین ذرت معمولی دانستند، زیرا میزان آمیلوپکتین و درجه ژلاتیناسیون بالاتری داشت. نشان داده شده است که ساختار، توزیع و اندازه گرانول‌های نشاسته در واریته‌های مختلف ذرت متفاوت است (۲۹، ۳۰، ۴۱ و ۶۳) و به طور معنی‌داری با دمای شروع، پیک و انتهایی ژلاتیناسیون نشاسته ذرت ارتباط دارد (۳۴). در مطالعه‌ای روی واریته‌های مختلف گندم با شرایط آب و هوایی مختلف نشان داده شده است که سهم گرانول‌های نشاسته نوع A که اندازه‌های بزرگتری دارند و میزان آمیلوز اندوسپرم در دماهای بالای $30^{\circ}C$ در ۱۴ روز بعد از گل‌دهی[1] افزایش می‌یابد (۶۱). ذرت‌هایی که دارای گرانول‌های بزرگتر و حاوی مقادیر بالاتری آمیلوز هستند (۳۰) درجه ژلاتیناسیون نشاسته کمتری نشان دادند که همسو با نتایج مطالعه حاضر در مورد ذرت برزیل بود. ذرت برزیل میزان و نرخ تولید گاز کمتر، قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته کمتر و درجه ژلاتیناسیون پایین‌تری نسبت به ذرت‌های روس، اکراین و سینگل کراس ۷۰۲ نشان داد. یکی از مهمترین دلایل می‌تواند رشد ذرت برزیل در شرایط آب و هوایی با دمای بالا و مرطوب باشد. مقدار بالای درجه ژلاتیناسیون نشاسته در ذرت روس نسبت به ذرت اکراین و به خصوص ذرت برزیل ممکن است به مقدار بالای آمیلوپکتین مربوط باشد، زیرا در مطالعات پانزو و همکاران (۶۱) نشان داده شده است که رشد دانه گندم در مناطق سردسیری منجر به کاهش آمیلوز و افزایش آمیلوپکتین در گرانول‌های نشاسته می‌شود که دلیل آن را به افزایش بیان ژن‌های خاص سنتز کننده آمیلوپکتین در دماهای هوایی پایین نسبت دادند. در مطالعه حاضر، مقدار بالای درجه ژلاتیناسیون نشاسته در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ و روس توسط قابلیت هضم شکمبه‌ای و نرخ تولید گاز بالای این ذرت‌ها تأیید می‌شود.

ساختار گرانول‌های نشاسته

تصاویر میکروسکوپ الکترونی در شکل ۴ قسمت A نشان داد که میانگین مساحت دور هر گرانول، قطر طولی و عرضی و به طور کلی اندازه گرانول‌های نشاسته در ذرت سینگل کراس ۷۰۲ نسبت به سایر ذرت‌ها کمتر بود و گرانول‌های ریز نسبت به گرانول‌های درشت بیشتر مشاهده شدند؛ گرانول‌های نشاسته با تعداد فراوان و با فضاهای خالی اندک کنار هم قرار گرفته و لایه بسیار نازکی از ماتریکس پروتئینی بین گرانول‌ها مشاهده شد. وجود گرانول‌های ریز و درشت حالتی از بی نظمی در تصویر الکترونی گرانول‌های نشاسته ذرت ایرانی نسبت به ذرت‌های تجاری-وارداتی ایجاد کرد. شکل ۴ قسمت B نشان داد که اندازه گرانول‌های نشاسته ذرت روس بزرگتر از ذرت سینگل کراس ۷۰۲، اکراین و برزیل بود. تعداد گرانول‌ها در سطح اسکن شده ذرت روس نسبت به سایر ذرت‌ها کمتر بود، اما یکنواختی به لحاظ اندازه و مساحت گرانول‌های نشاسته در این ذرت مشاهده شد. تراکم گرانول‌های درون اندوسپرم کمتر و فضاهای خالی بیشتری بین گرانول‌های نشاسته مشاهده شد. لایه‌های ماتریکس پروتئینی در ذرت روس نسبت به ذرت سینگل کراس ۷۰۲ بیشتر، ولی نسبت به ذرت‌های اکراین و برزیل کمتر بود. همچنین شکل ۴ قسمت C نشان داد که ذرت اکراین همانند ذرت روس اندازه بزرگتر و یکنواختی بیشتر در گرانول‌های نشاسته، تراکم کمتر، فضاهای خالی بیشتر بین گرانول‌ها و دیواره‌های بزرگتری از ماتریکس پروتئینی نسبت به ذرت سینگل کراس ۷۰۲ داشت. در شکل ۴ قسمت D مشخص شد اندازه گرانول‌های نشاسته در ذرت برزیلی مانند ذرت سینگل کراس ۷۰۲ یکدست نبود، اما گرانول‌های آن نسبت به ذرت سینگل کراس ۷۰۲ اندازه بزرگتری داشتند. ذرت برزیل نسبت به ذرت روس و اکراین دارای گرانول‌های نشاسته با مساحت، قطر طولی و عرضی کوچکتر بود و رگه‌های ضخیمی از ماتریکس پروتئینی در اسکن آن مشاهده شد، اما اثراتی از مولکول‌های پروتئینی به صورت تفکیک شده و غیر منسجم نیز در لابلای گرانول‌های نشاسته وجود داشت. در ذرت

1-Anthesis

برزیلی سطح گرانول‌های نشاسته به صورت غیر صاف بوده که ممکن است نشان دهنده حالت خاصی از شیشه‌ای بودن گرانول‌های نشاسته باشد، در حالی که در ذرت سینگل کراس ۷۰۲، روس و حتی اکراین سطح گرانول‌های نشاسته صاف بود. در این راستا لی (۴۱) در مطالعات خود نشان داد که گرانول‌های نشاسته در اندوسپرم ویترئوس به صورت متراکم و با سطحی غیر صاف درون ماتریکس پروتئینی قرار گرفتند.

جدول ۳- شاخص‌های آسیب دیدگی نشاسته ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی[۱]

Table 3- Starch damage parameters of Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn [1]

شاخص های آسیب دیدگی نشاسته Starch damage parameters	واریته‌های مختلف ذرت Different types of corn				SEM	P-Value
	واریته سینگل کراس ۷۰۲ Single crass 702	روس Russia	اکراین Ukraine	برزیل Brazil		
درصد جذب ید AI[2] (%)	93.98 [a]	93.75 [a]	91.56 [c]	92.60 [b]	0.29	<0.001
نشاسته آسیب دیده UCD[3]	20.78 [a]	20.27 [a]	14.40 [c]	17.17 [b]	0.78	<0.001
نشاسته آسیب دیده تصحیح شده بر اساس رطوبت UCDc[4]	21.36 [a]	20.71 [a]	14.79 [c]	17.51 [b]	0.80	<0.001
میزان نشاسته آسیب دیده بر اساس روش استاندارد AACC AACC 76-31	5.96 [a]	5.76 [a]	4.18 [c]	4.83 [b]	0.22	<0.001
عدد فاراند (شاخص ژلاتیناسیون نشاسته) Farrand	24.89 [a]	22.94 [a]	10.45 [c]	15.31 [b]	1.77	<0.001
ژلاتیناسیون نشاسته (درصد) Starch gelatinization (%)5	4.17 [a]	4.24 [a]	3.78 [b]	3.32 [c]	0.12	0.005

[۱]میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی دار می باشند ($P<0.05$)

[1]Means with different superscript letters in each row indicate significant different ($P<0.05$).

[2]AI: absorption of iodine,

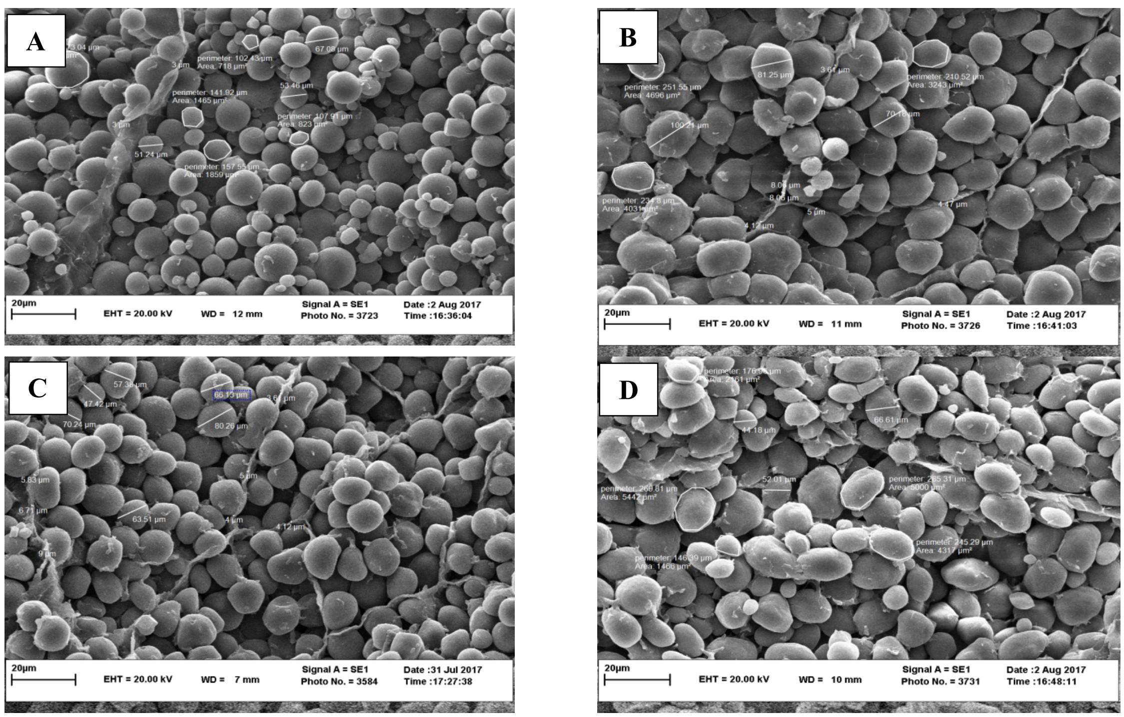
[3]UCD: damaged starch content- Chopin units,

[4]UCDc - damaged starch content chopin units on protein basis matter,

[5]Gelatinization: Measured by Megazyme Starch Damage Kit (76-31.01 and 06/18)

عوامل متعددی می‌توانند خصوصیات فیزیکوشیمیایی دانه ذرت را تحت تأثیر قرار دهند که شامل ترکیبات سلولی، ضخامت دیواره سلولی، اندازه سلول‌های پارانشیم ذخیره‌ای درون اندوسپرم، ضخامت ماتریکس پروتئینی متصل به گرانول‌های نشاسته، طول اتصالات بدنه‌های ماتریکس پروتئینی و اندازه گرانول‌های نشاسته هستند (۱ و ۷۴). واریته یا ژنتیک، شرایط کشت و دمای محیط ممکن است اندازه و توزیع گرانول‌های نشاسته را تحت تأثیر قرار دهند (۳۲ و ۴۲). اسکن‌های گرفته شده توسط دستگاه (differential scanning calorimetry; DSC) نشان داده است که در دانه ذرت گرانول‌های نشاسته به نوع بزرگ (A؛ بزرگتر از ۱۵ میکرومتر)، متوسط (B؛ بین ۱۵-۲ میکرومتر) و نوع کوچک (C؛ کوچکتر از ۲ میکرومتر) تقسیم‌بندی می‌شوند (۸۴ و ۸۵). مطالعات سوی و همکاران (۱۱) روی چهار واریته ذرت شیرین، پاپ، واکسی و دنت نشان داد که ذرت شیرین عمده گرانول‌های آن در گروه B قرار داشت و میانگین قطر گرانول‌ها را به ترتیب در ذرت واکسی> پاپ> دنت> شیرین گزارش کردند. نشان داده شده است که اندوسپرم ذرت پاپ بافت ویترئوس داشته (۴۱) و گرانول‌های نشاسته آن بسیار متراکم کنار هم قرار گرفتند و همین ممکن است یکی از دلایلی باشد که ضریب اکسپنژن (پف کردن) دانه ذرت پاپ را خیلی افزایش می‌دهد. لیو و همکاران (۴۲) اظهار کردند که ذرت شیرین حاوی مقادیر بالایی قند محلول است و به همین دلیل این نام را گرفته است و گرانول‌های نشاسته آن تراکم بسیار کمتری دارند که همین باعث ایجاد میزان نشاسته پایین‌تر در این واریته شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی گرفته شده در مطالعه حاضر برای ذرت برزیل مشابه با ذرت پاپ و برای ذرت سینگل کراس ۷۰۲ مشابه با ذرت شیرین در مطالعه سوی و همکاران (۱۱) بود. هورکمن و همکاران (۲۵) گزارش دادند که دمای هوا بعد از مرحله گلدهی به طور مشخصی ترکیب گرانول‌های نشاسته را در دانه گندم تحت تأثیر قرار می‌دهد و این محققین نشان دادند که بر اساس حجم نسبی در دانه گندم گرانول‌های نشاسته نوع A (بزرگتر از ۱۶ میکرومتر) عمدتا در شرایط دمایی $۳۷/۲۸^{\circ}C$ (دمای شب/دمای روز)، نوع B (بین ۱۶-۵ میکرومتر) در شرایط $۳۷/۱۷^{\circ}C$ (دمای شب/دمای روز) و نوع C (کوچکتر از ۵ میکرومتر) در شرایط $۲۴/۱۷^{\circ}$ (دمای شب/دمای روز) تولید می‌شوند (۲۵). به گفته این محققین دماهای پایین شب و روز منجر به تولید گرانول‌های ریز در اندوسپرم

دانه گندم می‌شود. پانزو و همکاران (۶۱) در مطالعات خود با روش reverse transcription-PCR مشخص کردند که توزیع اندازه گرانول‌های نشاسته تحت شرایط دمایی مختلف به طور نزدیکی با بیان ژن‌های ADP-glucose pyrophosphorylase، starch synthase، granule-bond starch synthase و آنزیم starch branching ارتباط دارد. تا جایی که نویسندگان بررسی کردند، مطالعه مشخصی روی تأثیر دمای شب و روز روی ساختار گرانول‌های نشاسته ذرت مانند گندم وجود ندارد. لذا هنگام مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعه هورکمن و همکاران (۲۵) به نظر می‌رسد بر خلاف نظر این محققین، ذرت روس و اکراین که در شرایط آب و هوایی سردتری نسبت به ایران و برزیل رشد کرده‌اند، دارای اندازه گرانول‌های نشاسته بزرگتری هستند. البته برخی مطالعات در مورد ذرت نشان دادند که با افزایش دمای هوا، اندازه گرانول‌های نشاسته کاهش یافته و ژلاتیناسیون نشاسته هنگام رشد دانه ذرت در دمای بالاتر، بیشتر می‌شود (۶۳).



شکل ٤– اسکن میکروسکوپ الکترونی از گرانول‌های نشاسته و ماتریکس پروتئینی ذرت ایرانی (سینگل کراس ۷۰۲) در مقایسه با انواع مختلف ذرت‌های تجاری-وارداتی با بزرگنمایی * ۲۵۰۰ (A: ذرت ایرانی سینگل کراس ۷۰۲، B: ذرت روس، C: ذرت اکراین و D: ذرت برزیل)

Figure 4– Scanning electron microscopy of starch granules and protein matrix of Iranian corn grain (single crass 702) in comparison with different types of imported corn with 2500x magnification (A: Iranian single cross 702 corn; B: Russia corn; C: Ukraine corn; D: Brazil corn)

نتیجه گیری کلی

به طور کلی مطالعه حاضر نشان داد که ذرت سینگل کراس ۷۰۲ از لحاظ داشتن اندوسپرم نرم، میزان و نرخ تولید گاز، درجه ژلاتیناسیون و قابلیت هضم نشاسته در شکمبه مشابه با ذرت روس بود، هرچند ساختار گرانول‌های نشاسته آن متفاوت به نظر می‌رسید. ذرت برزیل خصوصیاتی نظیر اندوسپرم سخت، نرخ تولید گاز کمتر، درصد ژلاتیناسیون کمتر و میزان قابلیت هضم روده‌ای بالاتری نشان داد. به نظر می‌رسد نتایج این مطالعه و مطالعات تکمیلی آینده بتواند اطلاعات مفیدی برای دامداران و کارخانجات خوراک دام جهت فرآوری دانه ذرت ارائه دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از پروفسور کیانگ ایل سانگ و دکتر جلیل قاسمی نژاد جهت فراهم کردن شرایط لازم جهت آنالیز تقریبی نمونه‌های حاصل از این آزمایش در آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه کنگون کره جنوبی و خرید کیت‌های مگازایم آنالیز نشاسته سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

1- Abdelrahman, A. A., and R. C. Hoseney. 1984. Basics for hardness in pearl millet, grain sorghum and corn. Cereal Chemistry, 61:232–235.
2- Allen, M. S., R. A. Longuski., and Y. Ying. 2008. Endosperm type of dry ground corn affects ruminal and total tract digestion of starch in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 91 (E-Suppl. 1): 529. (Abstract)
3- AOAC, 2012. Official Methods of Analysis, 19th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 121-130.
4- Bechtel, D. B., I. Zeyas., L. Kaleikau., and Y. Pomeranz. 1990. Size-distribution of wheat starch granules during endosperm development. Cereal Chemistry, 67: 59–63.
5- Bechtel, D. B., I. Zeyas., R. Dempster., and J. D. Wilson. 1993. Size-distribution of starch granules isolated from hard red winter and soft winter wheat. Cereal Chemistry, 70: 238–240.
6- Chai, W. Z., A. H. van Gelder., and J. W. Cone. 2004. Relationship between gas production and starch degradation in feed samples. Aminal Feed Science and Technology, 114: 195-204.
7- Chen, K. H., J. T. Huber., J. Simas., C. B. Theurer., P. Yu., S. C. Chan., F. Santos., Z. Wu., and R. S. Swingle. 1994. Effect of enzyme treatment or steam flaking of sorghum grain on lactation and digestion in dairy cows. Journal of Dairy Science, 78: 1721-1727.
8- Cone, J. W. 1998a. The development, use and application of the gas production technique at the DLO Institute for Animal Science and Health (AD-DLO), Lelystad, The Netherlands. In: Deaville, E. R., Owen, E., Adesogan, A. T., Rymer, C., Huntington, J. A., Lawrence, T. L. J. (Eds.), In vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants. Occasional publication No. 22 British Society of Animal Science, pp. 65-78.
9- Correa, C. E. S., R. D. Shaver., M. N. Pereira., J. G. Lauer., and K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. Journal of Dairy Science, 85: 3008-3012.
10- Cromwell, G. L., M. J. Bitzer., T. S. Stahly., and T. H. Johnson. 1983. Effects of soil nitrogen fertility on the protein and lysine content and nutritional value of normal and opaque-2 corn. Journal of Animal Science, 57:1345-1351.
11- Cui, L., S. Dong., J. Zhang., and P. Liu. 2014. Starch granule size distributionandmorphogenesisin maize (Zea mays L.) grains with different endosperm types. Australian journal of crop science, 8 (11): 1560-1565.
12- D'Alfonso, T. H. 2005. Sources of variance of energy digestibilityin corn-soy poultry diets and the effect on performance: Starch, protein, oil and fiber. Agris Science, 47:83–86.
13- D'Alfonso, T. H., and K. McCracken. 2002. Global corn quality variability. Proceedings of the Multistate Poultry Meeting, Indianapolis, Indiana, May14-16.
14- Dunshea, F. R., S. A. Pate., V. M. Russo., and B. J. Leary. 2012b. A starch binding agent decreases the rate of fermentation of wheat in a dose-dependent manner. Accessed March 21. The university of Melbourne.
15- Dunshea, F. R., V. M. Russo., I. Sawyer., and B. J. Leary. 2012a. A starch-binding agent decreases the in vitro rate of fermentation of wheat. Journal of Dairy Science, 95 (Suppl 2): 199. (Abstract).
16- Fanning, K. C., R. A. Longuski., R. J. Grant., M. S. Allen., and J. F. Beck. 2002. Endosperm type and kernel processing of corn silage: Effect on starch and fiber digestion and ruminal turnover in lactating cows. Journal of Dairy Science, 85 (Suppl. 1): 204. (Abstract).
17- Firkins, J. L., M. L. Eastridge., N. R. St-Pierre., and S. M. Noftsger. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. Journal of Animal Science, 79 (E Suppl.): E218-E238.
18- France, J., J. Dijkstra., M. S. Dhanoa., S. Lopez., and A. Bannink. 2000. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed in vitro: derivation of models and other mathematical considerations. British Journal of Nutrition, 83: 143–150.
19- Genter, C. F., J. F. Eheart., and W. N. Linkous. 1956. Effects of location, hybrid, fertilizer, and rate of planting on the oil and protein contents of corn grain. Agronomy Journal, 48: 63-67.
20- Giuberti, G., A. Gallo., F. Masoero., L. F. Ferraretto., P. C. Hoffman., and R. D. Shaver. 2014. Factors affecting starch utilization in large animal food production system: A review. Starch, 66: 72–90.
21- Gozho, G. N., and T. Mutsvangwa. 2008. Influence of carbohydrate source on ruminal fermentation characteristics, performance, and microbial protein synthesis in dairy cows. Journal of Dairy Science, 91: 2726–2735.
22- Groot, J. C. J., J. W. Cone., B. A. Williams., F. M. Debersaques., and E. A. Lantinga. 1996. Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology, 64: 77–89.
23- Hoffman, P. C., and R. D. Shaver. 2009. Corn Biochemistry: Factors relating to starch digestibility in lactating cows. Dairy Health and Nutrition Conference. New York, USA.
24- Hoffman, P. C., D. Ngonyamo-Majee., and R. D. Shaver. 2010. Technical note: Determination of corn hardness in

diverse corn germplasm using near-infrared reflectance baseline shift as a measure of grinding resistance. Journal of Dairy Science, 93: 1685-1689.

25- Hurkman, W. J., K. F. McCue., S. B. Altenbach., A. Korn., C. K. Tanaka., K. M. Kothari., E. L. Johnson., D. B. Bechtel., J. D. Wilson., O. D. Anderson., and F. M. Dupont. 2003. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. Plant Science, 164: 873–881

26- Hutjens, M., and H. Dann. 2000. Grain processing: is too coarse or too fine? Department of Animal Sciences, University of Illinois.

27- Iji, P. A., K. Khumalo., S. Slippers., and R. M. Gous. 2003. Intestinal function and body growth of broiler chickens on diets based on maize dried at different temperatures and supplemented with a microbial enzyme. Reproduction Nutrition Development, 43:77-90.

28- Jaeger, S. L., C. N. Macken., G. E. Erickson., T. J. Klopfenstein., W. A. Fithian., and D. S. Jackson. 2004. The influence of corn kernel traits on feedlot cattle performance. Nebraska Beef Report, 54-57.

29- Ji, Y., K. Seetharaman., K. Wong., J. Hasjim., L. M. Pollak., S. Duvick., J. Jane., and P. J. White. 2003a. Thermal and structure properties of unusual starches from developmental corn lines. Carbohydrate Polymer, 51: 439–450.

30- Ji, Y., K. Wong., J. Hasjim., L. M. Pollak., S. Duvick., J. Jane., and P. J. White. 2003b. Structure and function of starch from advanced generation of new corn lines. Carbohydrate Polymer, 54: 305–319.

31- Kaczmarek, S., A. Cowieson., D. Jozefiak., and M. Bochenek. 2007. The effect of drying temperature and exogenous enzymes supplementation on the nutritional value of maize for broiler chickens. In: Proceedings of the 16th European Symposium on poultry nutrition, August 26-30, 2007, Strasbourg, France, 555-558.

32- Kaur, A., N. Singh., R. Ezekiel., and H. S. Guraya. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. Food Chemistry, 101: 643–651.

33- Kniep, K. R., and S. C. Mason. 1991. Lysine and protein content of normal and opaque-2 maize grain as influenced by irrigation and nitrogen. Crop Science, 31: 177-181.

34- Knutson, C. A. 1990. Annealing of maize starches at evevated temperatures. Cereal Chemistry, 67: 376-384.

35- Kotara, D., and B. Fuchs. 2001. The effect of gelatinization degree and source of starch on the ileal and faecal digestibility of nutrients and growth performance of early-weaned piglets. Animal Feed Science and Technology, 10:163-70.

36- Leeson, S., A. Yersin., and L. Volker. 1993. Nutritive value of the 1992 corn crop. Journal of Applied Poultry Research, 2: 208-213.

37- Leeson, S., and J. D. Summers. 1976. Effect of adverse growing conditions on corn maturity and feeding value for poultry. Poultry Science, 55: 588-593.

38- Leeson, S., J. D. Summers, and T. B. Daynard. 1977. The effect of kernel maturity at harvest as measured by moisture content, on the metabolizable energy value of corn. Poult. Sci. 56:154-156.

39- Leeson, S., J. D. Summers., and T. R. Daynard. 2003. The effect of kernel maturity at harvest as measured by moisture content, on the metabolizable energy value of corn. Poultry Science, 56: 154–156.

40- Li, Q. F., M. Shi., and C. X. Shi. 2014. Effect of variety and drying method on the nutritive value of corn for growing pigs. Journal of Animal Science Biotechnology, 5:18-28.

41- Li, Y. L. 1999. Effect of normal corn pollen burst of maize grain and burst characteristics. Chinese Agricultural Science Bulletin, 15 (6): 24–26.

42- Liu, P., C. H. Hu., S. T. Dong., K. J. Wang., J. W. Zhang., and B. R. Zhang. 2005. Comparison of enzymes activity associated with sucrose metabolism in the developing grains between sweet corn and normal corns. Scientia Agricola, 38 (1): 52–58.

43- Longuski, R. A., K. C. Fanning., M. S. Allen., R. J. Grant., M. S. Allen., and J. F. Beck. 2002. Endosperm type and kernel processing of corn silage: Effect on short-term lactational performance in dairy cows. Journal of Dairy Science, 85 (Suppl. 1): 204.

44- Lopes, J. C., R. D. Shaver, P. C. Hoffman, M. S. Akins, S. J. Bertics, H. Gencoglu, and J. G. Coors. 2009. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 92: 4541-4548.

45- Lopes, J. C., R. D. Shaver., P. C. Hoffman., M. S. Akins., S. J. Bertics., H. Gencoglu., and J. G. Coors. 2009. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 92: 4541-4548.

46- Lu, D. L., H. F. Guo., and W. P. Lu. 2011. Effects of sowing date, variety and nitrogen top-dressing at jointing stage on starch granule size distribution of waxy maize. Scientia Agricola, 44 (2): 263–270.

47- Ma, D., J. Li., C. Huang., F. Yang., Y. Wu., L. Liu., W. Jiang., Z. Jia., P. Zhang., X. Liu., and S. Zhang. 2019. Determination of the energy contents and nutrient digestibility of corn, waxy corn and steam-flaked corn fed to growing pigs. Asian-Australian Journal of Animal Science, 32 (10): 1573-1579.

48- McAllister, T. A., L. M. Rode., K. J. Cheng., and C. W. Forsberg. 1991. Selection of a sterilization method for the study of cereal grain digestion. Journal of Animal Science, 69: 3039-3043.

49- McAllister, T. A., R. Phillippe., L. M. Rode., and K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. Journal of Animal Science, 71: 205-212.

50- McDonough, C. M., B. J. Anderson., and L. W. Rooney. 1997. Structural Characteristics of Steam-Flaked Sorghum. Cereal Chemistry, 74: 542–547.
51- Medcalf, D., and K. Gilles. 1965. Effect of a Lyotropic Ion Series on the Pasting Characteristics of Wheat and Corn Starches. Starch, 18, 101-105.
52- Menke, H. H., and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Animal Research Development, 28: 7–55.
53- Mohd, B. M. N., and M. Wootton. 1984. In vitro digestibility of hydroxypropyl maize, waxy maize and high amylose maize starches. Starch, 36: 273-275.
54- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Edn., Washington, D.C., National Academy Press. P: 450.
55- Ngonyamo-Majee, D., R. D. Shaver., J. G. Coors., D. Sapienza., and J. G. Lauer. 2008b. Relationships between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germ plasm. II. Ruminal and post-ruminal degradabilities. Animal Feed Science and Technology, 142: 259-274.
56- Ngonyamo-Majee, D., R. D. Shaver., J. G. Coors., D. Sapienza., D. E. S. Correa., J. G. Lauer., and P. Berzaghi. 2008a. Relationships between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm. I. Development of near-infrared reflectance spectroscopy calibrations. Animal Feed Science and Technology, 142: 247-258.
57- Ngonyamo-Majee, D., R. D. Shaver., J. G. Coors., D. Sapienza., J. G. Lauer. 2009. Influence of single-gene mutations, harvest maturity and sample processing on ruminal in situ and post-ruminal in vitro dry matter and starch degradability of corn grain by ruminants. Animal Feed Science and Technology, 151, 240–250.
58- Office of Business Planning, Statistics and Research (OBPSR). 2016. Iran Foreign Trade Performance Report. www. Tpo.ir. Page 11. (In Persian)
59- Owens, F. 2007. Corn genetics and animal feeding value. Pioneer Hi-Bred International, Inc., Johnston, I A.
60- Owens, F. N., D. S. Secrist., W. J. Hill., D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. Journal of Animal Science, 75: 868-79.
61- Panozzo, J. F., and H. A. Eagles. 1998. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat: I. Starch. Australian Journal of Agriculture Research, 49: 757–766
62- Pashaei, S., V. Razmazar., and R. Mirshekar. 2010. Gas production: A proposed in vitro method to estimate the extent of digestion of a feedstuff in the rumen. Journal of Biology Science, 10: 573-580.
63- Paterson. J. L., A. Hardacre., P. Li., and M. A. Rao. 2001. Rheology and granule size distribution of corn starch dispersions from two genotypes and grown in four regions. Food Hydrocolloids, 15: 453–459.
64- Peron, A., and C. E. Gilbert. 2011. Differences between corn: a study of origin and harvests. Asian feed technical. Poultry feed quality conference. Kuala Lumpur.
65- Philippeau, C., and B. Michalet-Doreeau. 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. Animal Feed Science and Technology, 68: 25-35.
66- Philippeau, C., C. Martin., and B. Michalet-Doreau. 1999b. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. Journal of Animal Science, 77: 1587–1596.
67- Philippeau, C., F. Le Deschault de Monredon., and B. Michalet-Doreau. 1999a. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. Journal of Animal Science, 77: 238–243.
68- Ramos, B. M. O., M. Championb., C. Poncet., I. Y. Mizubuti., and P. Nozi`ere. 2009. Effects of vitreousness and particle size of maize grain on ruminal and intestinal in sacco degradation of dry matter, starch and nitrogen. Animal Feed Science and Technology, 148: 253–266.
69- Rehman, Z. U., F. Habib., and S. I. Zafar. 2002. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. Food Chemistry, 77: 197-201.
70- Rooney, L. W., and R. I. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. Journal of Animal Science, 63: 1607-1623.
71- Sangeeta, G., and R. B. Grewal. 2018. Physical and chemical properties of corn varieties (HQPM-1 and HQPM-7). International Journal of Chemical Studies, 6 (3): 3380-3382.
72- SAS Institute. 2009. SAS/STAT Users Guide. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
73- Shiri. M. R., F. Azizi., M. Abaspour., H. Fakhimi., A. Badali., M. Jalil., and A. Kasraei. 2016. Comparison of the performance of the new Single Cross 704 hybrid with the Single Cross 702. Agricultural Research, Education and Promotion Organization, R 43978: 6-7. (In Persian)
74- Simmonds, D. H., K. K. Barlow., and C. W. Wrigley. 1973. The biochemical basis of grain hardness in wheat. Cereal Chemistry, 50: 553–562.
75- Song, G. L., D. F. Li., X. S. Piao., F. Chi., and W. J. Yang. 2003. Apparent ileal digestibility of amino acids and the digestible and metabolizable energy content of high-oil corn varieties and its effects on growth performance of pigs. Archive of Animal Nutrition, 57: 297-306.
76- Soulski, F. W., and A. M. Cadden. 1982. Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. Journal of Food Science, 47: 1472-1477.

77- Subuh, A. M. H., T. G. Rowan., T. L. J. Lawrence. 1996. Effect of heat or formaldehyde treatment on the rumen degradability and intestinal tract apparent digestibility of protein in soya-bean meal and in rapeseed meals of different glucosinolate content. Animal Feed Science and Technology, 57: 139-152.
78- Taylor, C. C., and M. S. Allen. 2005. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: Feeding behavior and milk yield of lactating cows. Journal of Dairy Science, 88: 1425-1433.
79- Theodorou, M. K., B. A. Williams., M. S. Dhanoa., A. B. McAllan., and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics ofruminant feeds. Animal Feed Science and Technology, 48: 185–197.
80- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. Journal of Animal Science, 63: 1649-1662.
81- Thompson, D. L., M. D. Jellum., and C. T. Young. 1973. Effect of controlled temperature environments on oil content and on fatty acid composition of corn oil. Journal of American Oil Chemists Society, 50: 540-542.
82- Van zyl. J. H. C. 2017. The effect of maize vitreousness and a starch binder on in vitro fermentation parameters and starch digestibility in dairy cows. PhD thesis. Stellenbosch University. Department of Animal Sciences. Faculty of AgriScience.
83- Weatherburn, W. M. 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. Annual Chemistry, 39: 971–975.
84- Wilson, J. D., D. B. Bechtel., T. C. Todd., and P. A. Seib. 2006. Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology. Cereal Chemistry, 83: 259–268.
85- Zhang, H. Y., R. Q. Gao., and S. T. Dong. 2011. Anatomical and physiological characteristicsassociated with corn endosperm texture. Agronomy Journal, 103: 1-7.
86- Zhang, L., J. W. Zhang., P. Liu., and S. T. Dong. 2011. Starch granule size distribution in grains of maize with different starch contents. Scientia Agricola, 44 (8): 1596–1602.
87- Zhang, L., Y. K. Li., Z. C. Li., Q. F. Li., M. B. Lyu., D. F. Li., and C. H. Lai. 2016. The Nutritive Values in Different Varieties of Corn Planted in One Location Fed to Growing Pigs over Three Consecutive Years. Asian Australas. Journal of Animal Science, 29 (12): 1768-1773.
88- Zhirkovaa, E. V., M. V. Skorokhodovaa., V. V. Martirosyanb., E. F. Sotchenkob., V. D. Malkinac., and T. A. Shatalovad. 2016. Chemical composition and antioxidant activity of corn hybrids grain of different pigmentation. Foods and Raw Materials, 4 (2): 85–91.
89- Zilic, S., M. Milasinovic., D. Terzic., M. Barac., and D. Ignjatovic-Micic. 2011. Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids. Spanish Journal of Agricultural Research, 9(1): 230-241.
90- Zinn. R., F. Owens., and R. Ware. 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. Journal of Animal Science, 80: 1145-56.

Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 13, No. 1, Spring 2021, p. 43-64

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۶۴-۴۳

Physical and chemical properties, gas fermentation parameters, starch digestibility and starch granules structure in Iranian corn grain Single cross 702 in comparison with different kind of imported corn grain

Atieh Rahimi[1], Abbas Ali Naserian[2*], Reza Valizadeh[2], Abdolmansour Tahmasebi[2] and Hesam Dehghani[3]
Submitted: 10-01-2020
Accepted: 11-04-2020

Introduction Corn grain represents the most important energy source in ruminant diets. In high-producing dairy cows, the diets contain high levels of corn in order to meet their energy requirements. Corn has a complex structure where a range of nutrients interact with each other or physically associations. Ultimately, the quantity and availability of these nutrients determines the nutritional value of this grain. In corn nutrients and energy utilization is influenced by both intrinsic (e.g. starch granules and protein matrix structure) and extrinsic (e.g. growing and storage conditions, climate and agronomy conditions and grain drying process) factors. Corn endosperm represents more than 80% of total grain and is composed of starch granules that are imbedded in a protein matrix and surrounded by plant cell walls. Starch granules size, starch composition (amylose/amylopectin ratio), starch encapsulation (by endosperm cell walls and protein bodies) are among the factors with the most influence on digestion of starch. The structure and distribution of starch and protein matrix network of grains vary in different corn varieties. The Objectives of this study were to evaluate physical and chemical properties, gas fermentation parameters, starch digestibility and starch granules structure in Iranian corn grain Single cross 702 in comparison with different kind of imported corn grains (Russia, Ukraine and Brazil).

Materials and methods Corn grain samples (Single cross 702, Russia, Ukraine and Brazil) were obtained from Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, Iran. The apparent density was measured and the samples were analyzed for DM, OM, CP, EE, NDF, ADF, starch. Gas production was conducted in a 125 ml amber flask with three series of incubation. Gas production parameters were calculated. Also, rumen, intestine and total tract digestibility of DM, starch and CP were determined by using the *in situ* mobile bag procedure. Different parameters of damaged starch (the absorption of iodine, Ai%; damaged starch content in UCD, Chopin units; UCDc, Chopin units on protein basis matter) were determined using the amperometry method (Chopin, ZI Val de Sein, 92390 VLG, France). Starch gelatinization was determined according to the enzymatic procedure (AACC Method 76-31.01; K-SDAM, 09/2018). Scanning electron microscope (LEO 1450 VP, USA), at an accelerating voltage of 25 kV, and under 2500x magnification to study the grain structure was done. Data were analyzed by GLM procedure of SAS with a completely randomized design.

Results and discussion Apparent shape of Single cross 702 was smaller than other corn varieties. Apparent density was higher in Brazil corn than other corn varieties. DM, OM and EE were not shown significantly difference between corn varieties; however, CP, ADF, NDF, starch, NFC, TDN, NE_g and NE_l were significantly affected by different corn varieties. Starch in Single cross 702 corn (69.03%) was significantly lower than Russia (71.04%), Ukraine (70.36%) and Brazil (71.49%) corns. Asymptote gas production (A) was not influenced by different corn varieties; however, the real gas production in time 24 and 48 h incubation in Brazil, Russia and Single cross 702 corns was greater than Ukraine corn. The instant rate of gas production until 8 h incubation in Single cross 702 and Russia corns was greater than Ukraine and Brazil corns. The time for fermentation of 25 and 75% of substrate in

1- PhD student of animal nutrition, Faculty of Agriculture, Animal Science Department, Ruminant Nutrition Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Professor of animal nutrition, Faculty of Agriculture, Animal Science Department, Ruminant Nutrition Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Professor of animal biotechnology, Research Institute of Biotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*-Corresponding Author Email: naserian@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/ijasr.v13i1.85030

Single cross 702 and Russia corns were significantly reduced than other corn varieties. The PH, NH3-N and total VFA of bath culture in 24 h didn't influence by corn varieties, however acetate to propionate ratio in Brazil corn was greater than other corns. In spite of that the rumen starch digestibility of Single cross 702 (61.59%) and Russia (59.51%) was increased than Ukraine (45.31%) and Brazil (40.51%) corns; however, Ukraine (97/.06%) and Brazil (98.39%) corns showed the intestine starch digestibility greater than Single cross 702 (93.79%) and Russia (93.87 %) corns. The starch gelatinization in both of Single cross 702 (4.24%) and Russia (4.17%) was greater than Ukraine (3.78%) and Brazil (3.32%) corns. The scanning electron microscopy showed that the starch granules size was not uniform in the Single cross 702 corn and the number of small starch granules was greater than other corn varieties. Also, the thin protein matrix was observed in the Single cross 702 corn. In contrast, the starch granules size in the Russia and Ukraine corns were larger and uniform. In Brazil corn, the starch granules were arranged with greater density and a non-smooth surface was observed on the granules. Many studies were done on nutrient value of different corn varieties. Numerous factors can affect the grain chemical composition, physical properties and starch availability on corn grain that include cell wall structure, type of endosperm (floury or vitreous), starch granules and protein matrix, genetic and environment. Corns contain higher floury to horny starch ratio showed greater starch gelatinization and greater starch digestibility in the rumen and total tract. Findings of this study represent the Single cross 702 and Russia corns showed higher gas production, rate of gas production, starch gelatinization and rumen digestibility of starch than Brazil corn.

Conclusion It is concluded that the Single cross 702 corn in terms of flurry endosperm, gas production, gas production rate, starch gelatinization and rumen digestibility of starch was similar to Russia corn, although the structure of starch granules was different. Brazil corn had a horny endosperm and showed lower rate of gas production in initial hours of incubation, lower starch gelatinization and higher intestine digestibility of starch than other corns. It generally seems that the result of this study and similar studies can offer useful information about corn grain for farmers and the animal feed manufactures for processing of corn.

Key words: Imported corn grain, Gas production, Single Cross 702, Starch digestibility, Starch gelatinization, Starch granules structure.